

# **MODELAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NUMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

Estudo do comportamento do cloro e da formação  
de trihalometanos

**LUÍS MIGUEL FERNANDES LIMA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo

---

Professor Doutor Cheng Chia-Yau

JULHO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus pais e irmãs

*Água fervida alimenta a vida*

*Provérbio popular*



Gostaria de agradecer ao Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo pela oportunidade de permitir efectuar este trabalho, bem como pela ajuda que providenciou ao longo do seu desenvolvimento.

Também ao Sr. Professor Cheng Chia-Yau os meus agradecimentos pela colaboração e auxílio, que em fases críticas do trabalho foram de grande utilidade.

À minha família e amigos que me acompanharam e apoiaram ao longo deste percurso.



O cloro é sem dúvida o desinfectante mais utilizado no tratamento de água para consumo humano. As suas funções passam por deixar um residual que ao longo do sistema de distribuição neutralize ou elimine microrganismos patogénicos. Acontece que, ao reagir com compostos orgânicos presentes na água, ainda que em pequenas quantidades, dá lugar à formação de subprodutos. Entre estes encontram-se os trihalometanos que, por serem os mais frequentes, bem como pelo seu potencial cancerígeno são os mais preocupantes.

Neste trabalho aborda-se a problemática da desinfecção da água de consumo, analisando ponderadamente o efeito das suas três vertentes: existência de microrganismos patogénicos, aplicação de desinfectante residual para eliminar a sua acção, e a consequente formação de subprodutos potencialmente prejudiciais à saúde humana.

O objectivo prático deste trabalho recai sobre o desenvolvimento de um modelo de qualidade que permita simultaneamente modelar o decaimento do cloro residual e a formação de trihalometanos, explorando para tal o novo módulo de simulação de múltiplas espécies Epanet – MSX.

Assim, no primeiro capítulo faz-se uma breve análise acerca dos métodos de tratamento de água, e das tecnologias hoje disponíveis.

No segundo capítulo aborda-se a evolução da qualidade da água ao longo dos sistemas de distribuição, após o seu tratamento em ETA. São analisados os factores que interferem na evolução do decaimento do cloro, bem como na formação de trihalometanos.

O capítulo terceiro refere-se em particular à problemática da desinfecção. De uma forma geral, são abordados os microrganismos patogénicos e os seus efeitos na saúde pública, o efeito do desinfectante residual, bem como os prejuízos que resultam da formação dos subprodutos dessa desinfecção.

Nos capítulos quarto e quinto é dada atenção aos modelos cinéticos, e modelos globais para a simulação da evolução de espécies químicas em sistemas de distribuição de água, com particular enfoque para o modelo cinético sugerido por Robert Clark. Também aqui constam as explicações da aplicação do *software* Epanet-MSX, nomeadamente deste referido modelo cinético a um sistema de distribuição real.

Por fim são tecidos alguns comentários finais no último capítulo, fazendo também a avaliação do trabalho efectuado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cloro, trihalometanos, modelação, sistema de distribuição de água.





Chlorine is definitely the most widely used disinfectant in drinking water. His application guarantees a residual capable of neutralize/eliminate the pathogenic effect of microorganisms. The reaction of chlorine residuals with organic compounds, present in the water even in small quantities, promotes the formation of disinfectant by-products. Among this are the trihalometanes; because of their abundance and their potential prejudicial health effect, this products are the most preoccupying.

This work approaches the problematic of drinking water disinfection, analysing cautiously the effect of their three sides: the existence of pathogenic microorganisms, application of disinfectant residual to neutralize their effects, and the consequent formation of by-products potentially prejudicial to human heath.

The practical objective of this work is the development of a water quality model that can provide simultaneously the evaluation of chlorine decay and the consequent formation of trihalometanes, exploring for that purpose the new Multiple-Species Extension of Epanet - Epanet-MSX.

So, in the first chapter is done a quick analysis about drinking water treatment methods and available technologies.

In the second chapter is approached the evolution of water quality in the distribution system, beyond the water treatment facility. There are analysed some of the factors that influence chlorine decay, as well as trihalometanes formation.

The third chapter relates particularly the problematic of the drinking water disinfection. In general, microorganisms are approached and their effects on human health, as also the effect of disinfectant residual, as well the injury resultant by the formation of disinfectant by-products.

In the forth and fifth chapter is given some attention to the kinetic models and global models, for the simulation of chemical species evolution among a water distribution system, with special observation to that one suggested by Robert Clark. Also, in here, are made some explanations about the application of Epanet-MSX, particularly the mentioned Clark's model on a real distribution system.

Finally are made some end comments in the last chapter, as well the work's evaluation.

**KEYWORDS:** chlorine, trihalometanes, modelation, drinking water supply system.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Qualidade da água nos Sistemas de Distribuição .....</b>	<b>17</b>
2.1. EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	19
2.2. DECAIMENTO DO CLORO .....	22
2.2.1. DECAIMENTO DO CLORO NO SEIO DO MEIO AQUOSO .....	24
2.2.2. DECAIMENTO DO CLORO DEVIDO À INTERACÇÃO SUPERFICIAL .....	26
2.2.2.1. INTERACÇÃO ENTRE A ÁGUA E O MATERIAL DA TUBAGEM .....	28
2.2.2.2. INTERACÇÃO ENTRE A ÁGUA E O BIOFILME .....	29
2.3. FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO AO LONGO DO SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	31
2.4. O EFEITO DO TRATAMENTO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	35
<b>3. O problema da saúde pública .....</b>	<b>39</b>
3.1. MICRORGANISMOS PATOGENICOS .....	41
3.2. DESINFECTANTES RESIDUAIS .....	43
3.3. SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO .....	44
3.4. RESUMO .....	45
<b>4. Modelação do decaimento do cloro residual e formação de trihalometanos .....</b>	<b>47</b>
4.1. MODELOS CINÉTICOS .....	49
4.2. MODELAÇÃO GLOBAL .....	52
4.3. MODELOS EM AMBIENTE EPANET2.0 E EPANET-MSX .....	54
<b>5. Modelação conjunta de cloro residual e trihalometanos .....</b>	<b>57</b>
5.1. O MODELO DE CLARK .....	59
5.2. MODELAÇÃO EM EPANET-MSX .....	60
<b>6. Comentários finais e conclusões .....</b>	<b>69</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Esquema de uma ETA: processo de tratamento convencional.....	13
Fig. 2.1 – Evolução da concentração de cloro residual em função da dosagem de cloro.....	23
Fig. 2.2. - Comparação das constantes cinéticas de decaimento do cloro, em tubos com e sem Biofilme .....	26
Fig. 2.3 - Esquema da formação de biofilme .....	29
Fig. 2.4 - Potencial de formação de biofilme de alguns materiais sintéticos.....	30
Fig. 2.5 - Esquema estrutural da molécula de metano .....	32
Fig. 2.6 - Esquema estrutural das moléculas de trihalometanos.....	32
Fig. 2.7 - Evolução da quantidade total de THM em função da dosagem inicial de Cloro.....	34
Fig. 2.8 - Evolução da quantidade total de THM em função da dosagem inicial de Cloro.....	35
Fig. 2.9 - Efeito do local de cloração em ETA, na quantidade de THM efluentes .....	36
Fig. 2.10 - Efeito da coagulação na quantidade de THM efluentes.....	37
Fig. 4.1 - Representação esquemática do volume de controlo (VC) numa tubagem cilíndrica.....	53
Fig. 4.2 - Andamento do passo de cálculo hidráulico (Epanet) – <i>Discrete Volume Element Method</i> .....	55
Fig. 5.1 - Interface gráfica para Epanet-MSX de <i>Zonum Solutions</i> .....	61
Fig. 5.2 - Rede hidráulica simples.....	62
Fig. 5.3 - Rede de distribuição de Vilar de Andorinho, Vila Nova de Gaia .....	65
Fig. 5.4 - Evolução dos níveis de cloro residual e TTHM em alguns pontos do SD de V. de Andorinho .....	66
Fig. 5.5 - Concentração de cloro residual no SD de V. de Andorinho pelas 32 horas .....	67
Fig. 5.6 - Concentração de TTHM no SD de V. de Andorinho pelas 32 horas .....	68



## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1.1 – Efeitos dos processos de tratamento de água .....	14
Tabela 2.1 (1, 2, 3) – Alterações dos parâmetros de qualidade da água ao longo dos SD .....	21
Tabela 2.2 – Contribuição relativa das diversas componentes de consumo de cloro .....	27
Tabela 2.3 – Nomes e acrónimos de trihalometanos .....	32
Tabela 3.1 – Algumas doenças propagadas através de sistemas de distribuição .....	41
Tabela 3.2 – Limites à concentração de microrganismos de acordo com SDWA .....	43
Tabela 5.1 – Configuração da rede hidráulica simples – Nós .....	62
Tabela 5.2 – Configuração da rede hidráulica simples – Tubagens .....	62





## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ASCE – *American Society of Civil Engineering*

AWWA – *American Water Works Association*

COA – Carbono Orgânico Assimilável

COBD – Carbono Orgânico Biodegradável

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

COT – Carbono orgânico total

D-W – Darcy–Weisbach

EPA – *Environmental Protection Agency*

ETA – Estação de tratamento de água

HAA – Ácidos Haloacéticos

MCL – *Maximum Contaminant Level*

MCLG – *Maximum Contaminant Level Goal*

MDL – *Maximum Disinfectant Level*

MDLG – *Maximum Disinfectant Level Goal*

MON – Matéria Orgânica Natural

MSX – *Multiple-Species Extension*

n/a – não aplicável ou não definido

OMS – Organização Mundial de Saúde

RNF – Reservatório de Nível Fixo

SD – Sistema de Distribuição de Água

SDWA – *Safe Drinking Water Act*

SPD – Subprodutos da desinfecção

THM – Trihalometanos

TT – *Treatment technique*

UV – Ultravioleta







# 1 Introdução



A água representa indiscutivelmente um valiosíssimo bem para os seres vivos. Sendo indispensável para a existência de vida animal e vegetal, desde sempre se tornou objecto de grande interesse. A necessidade de recursos hídricos abundantes tem paralelamente sido acompanhada pela preocupação com a respectiva qualidade. Datam dos primórdios da civilização humana os primeiros métodos de purificação da água. Processos como a fervura, a filtração por areia ou poros, são dos mais antigos exemplos. Um físico indiano, afirmava em 2000 A.C. que a água impura deveria ser tratada através da fervura ao fogo, aquecida ao sol, mergulhando nela um metal incandescente, ou através da filtração em areia e gravilha, sendo posteriormente exposta ao carvão.

O florescimento da civilização humana veio acrescentar novas competências ao papel que a água passaria então a desempenhar. Desde a mais básica mas indispensável intervenção nos processos biológicos, veio tornar-se factor determinante na manutenção das condições higiénicas necessárias à vida comunitária, como forma de saneamento dos dejectos – inerentes à vida humana e de animais domesticados – potencialmente foco de desenvolvimento de organismos patogénicos. Paralelamente, a água representava um factor cada vez mais importante para a actividade económica. Consciente dessas virtudes, a civilização romana empenhou-se na construção de uma rede de aquedutos que abasteciam as suas urbes de água previamente decantada e filtrada junto da origem. Instituiu-se a prática generalizada de tomar banhos e usufruir de termas, conservando-se assim a salubridade no seio do aglomerado populacional.

Embora assegurassem um serviço habitualmente homogéneo, os antigos sistemas de abastecimento de água punham a descoberto uma grande vulnerabilidade, já que aquando da depreciação da qualidade da água fornecida, rapidamente se corria o risco de propagar infecções e doenças graves a toda a população.

A primeira vez que se provou que a água poderia ser fonte de contaminação aconteceu após duas grandes epidemias de cólera em 1831 e 1848, quando alguns físicos ingleses se aperceberam que a doença alastrava consecutivamente a povoações sitas nas margens do rio que todas partilhavam, a jusante do foco inicial, sugerindo que a água poderia ser o veículo da doença. Em 1853, um súbito surto de cólera permitiu ao Dr. John Snow, um físico londrino, testar esta teoria. Depois de identificar os locais de ocorrência da doença, verificou que a origem da água abastecida lhes era comum. O Dr. Snow propôs às autoridades encerrá-la, o que se veio a revelar como factor determinante no controlo da doença, poupando potencialmente milhares de vidas humanas. As autoridades britânicas compreenderam desta forma que seria uma boa política procurar estabelecer como origem da água fontes higiénicas e efectivamente seguras. De facto, por volta de 1883, quando o agente causador da cólera foi identificado e estudado pelo bacteriologista alemão Robert Koch, já os surtos periódicos desta doença haviam sido reduzidos nas ilhas britânicas.

Koch realizou também estudos no âmbito do processo de filtração da água. Um deles incidiu sobre os sistemas de abastecimento de água de duas cidades alemãs contíguas entre si, e que tinham no mesmo curso de água as respectivas captações. Hamburgo, situada a montante da cidade de Aldona, e ao contrário desta, não recorria à filtração no processo de tratamento da água que disponibilizava aos seus munícipes. Mesmo possuindo inferior qualidade da água bruta por se situar a jusante de outra cidade, registavam-se em Aldona menores taxas de incidência de cólera, o que permite inferir acerca da importância da integração da filtração no processo de tratamento de água.

Com o aperfeiçoamento das técnicas de filtração, bem como pela multiplicação de experiências foi possível constatar uma assinalável redução da taxa de incidência de várias epidemias, como a febre tifóide por exemplo. De facto, em experiências decorridas em Louisville nos Estados

Unidos, por volta de 1895 a 1897, provou-se que mesmo águas bastante poluídas e lamacentas poderiam ser tratadas por filtração ao ponto de a sua qualidade evoluir significativamente, não parecendo mais ter a proveniência que lhe era conhecida. Com tais resultados, a filtração instituíra-se como um importante processo de purificação. De acordo com Hazen, que realizou vários estudos no início do século XX, a filtração permitia eliminar a cor e turvação da água, bem como eliminar 99% das bactérias, o que à época eram consideradas condições exemplares.

Várias situações de contaminação dos sistemas de abastecimento público ocorreram ao longo do século XX em países como a Suécia, Índia e Estados Unidos. Neste último país existem relatos da ocorrência de um surto de hepatite numa pequena cidade do estado do Kentucky, cujo epicentro teve lugar numa urbanização de casas adjacentes. Veio a descobrir-se que os furos de água donde se abasteciam algumas das habitações haviam sido contaminados por apenas uma só fossa séptica. Este episódio revela uma vez mais a facilidade com que se quebra o precário equilíbrio existente, evidenciando igualmente o poder que tem a água para consumo humano, pela amplitude da sua abrangência, na propagação de epidemias.

Mas aquele que é considerado um dos maiores avanços na melhoria da qualidade da água diz respeito à utilização de cloro. A primeira aplicação desta substância no processo de tratamento de água potável ocorreu nos Estados Unidos na década de 1830, para correcção de odor e sabor. Para efeitos de desinfecção, esta prática estabeleceu-se em 1908 na cidade de New Jersey, por uma empresa privada que explorava o reservatório municipal. De forma a cumprir o contracto que estabelecera com as autoridades em que era imposta a salvaguarda de alguns parâmetros qualitativos, esta empresa preteriu o processo de filtração da água, à dissolução de cloro no seio desta. Tal solução produziu excelentes resultados na óptica da empresa concessionária, já que permitiu de uma forma muito mais barata, cumprir os critérios de qualidade bacteriológica estabelecidos. O hipoclorito de cálcio, que integra cloro na sua composição, era fabricado para o uso como lixívia. Pelo facto de ser barato facilmente se adaptou ao uso em larga escala nos sistemas de abastecimento de água, disseminando-se rapidamente a sua utilização. O uso de cloro coincidiu com uma fase de grande avanço nos conhecimentos sobre testes bacteriológicos, o que permitiu efectivamente avaliar a eficácia da sua desinfecção.

Contudo, há apenas duas décadas a Environmental Protection Agency dos E.U. estimava em cerca de 89000 o número de casos anuais de contaminação e propagação de doenças de origem microbiana em sistemas de abastecimento de água, revelando que as dificuldades inerentes ao tratamento e distribuição de água de qualidade ainda não são perfeitamente controladas. Acresce a isto o facto de, na década de 1970, se ter inesperadamente identificado a presença de clorofórmio na água do serviço público nos E.U., o que revela por uma lado a falta de conhecimento científico patente nesta matéria (bem recentemente) como também põe a descoberto a problemática da desinfecção com cloro, já que o clorofórmio resulta directamente da aplicação deste desinfectante.

O clorofórmio insere-se num tipo de substâncias que se designam por trihalometanos – potencialmente cancerígenos – e que no âmbito dos processos de tratamento de água para consumo humano resultam da reacção do cloro aquoso com compostos orgânicos presentes na água – substâncias húmicas e fúlvicas. Os trihalometanos são por isso apelidados de subprodutos da desinfecção – SPD's.

A descoberta da presença de trihalometanos e outros SPD's na água para consumo humano alertou para a necessidade de se aprofundarem as investigações referentes às reacções químicas e biológicas que ocorrem quer durante o processo de tratamento, quer no sistema de distribuição, incluindo as interacções com os materiais das condutas, acessórios e reservatórios. O desenvolvimento de ferramentas informáticas que permitam então modelar tais interacções é igualmente considerado da maior importância, já que permite avaliar a evolução de substâncias presentes na água, ao longo do tempo e em todo o espaço do sistema de abastecimento.



## **Necessidade de proceder ao tratamento de água para consumo**

A água para consumo humano tem origem em diversas fontes como:

Aquíferos – Reservas subterrâneas de água a grande profundidade;  
Lagos e Reservatórios naturais elevados – acumulações de águas pluviais em depressões naturais do terreno em altitude;  
Reservatórios naturais em planície – cursos de água e reservas, naturais ou artificiais, sítos a baixas altitudes.

Grande parte da água para consumo humano tem origem superficial ou subterrânea, em reservas muito mais expostas a agentes poluentes do que as situadas a elevadas altitudes.

A poluição da água para consumo humano refere-se à presença de elementos nocivos à saúde e ao bem-estar das populações.

Os agentes poluidores são de natureza química, física e biológica. Os agentes químicos poderão ser orgânicos (biodegradáveis ou persistentes) e inorgânicos. De entre os agentes de natureza física destacam-se a radioactividade, e a alteração das características térmicas naturais da água; situação normalmente provocada pela circulação de massas de água em circuitos de refrigeração de unidades industriais, devolvendo ao meio hídrico natural água com temperatura mais elevada. Os agentes biológicos referem-se a organismos microscópicos patogénicos como vírus, bactérias, protozoários, algas, e organismos macroscópicos, como animais e plantas.

Designa-se por poluição pontual a contaminação de uma reserva ou curso de água a partir de um foco bem delimitado. Como exemplo é de referir a descarga de águas residuais. Inversamente, entende-se por poluição difusa, quando os agentes poluentes são transferidos para a água num espaço amplo e disperso. São exemplos típicos as escorrências de águas pluviais e de lixeiras, bem como drenagens agrícolas.

Sendo um elemento imprescindível à existência da vida, a água existente na natureza representa também um ecossistema onde se desenvolvem espécies micro e macroscópicas, muitas delas nocivas à saúde do ser humano. Serve ainda como dissolvente de inúmeras substâncias também prejudiciais, e que devem por isso ser eliminadas ou neutralizadas antes do consumo.

Os metais pesados – poluentes químicos inorgânicos – são das substâncias mais preocupantes, já que o seu efeito nocivo no ser humano é bastante poderoso. Existe uma forte preocupação sobre uma exposição crónica a estes agentes, mesmo em pequenas quantidades. Deve por isso submeter-se a água bruta captada a testes laboratoriais com o objectivo de identificar a sua eventual presença.

A turvação da água evidencia a presença de substâncias indesejáveis, sendo normalmente causada por sólidos em suspensão, de natureza orgânica e sobretudo inorgânica. Esta característica é indesejável por motivos estéticos na água distribuída ao consumidor, que, utilizando-a não só para beber/cozinhar, o que por si só seria certamente suficiente para desacreditar a respectiva qualidade, lhe dá também uso em funções de higiene pessoal, de vestuário e da própria habitação. A presença de odores e sabores desagradáveis está também muitas vezes associada a esta característica.

Muitos compostos orgânicos marcam habitual presença no meio hídrico natural. Entre eles encontram-se, por exemplo, hidrocarbonetos, herbicidas, pesticidas, óleos e gasolinas, provenientes de escorrências não recolhidas/colectadas de vias de comunicação, bem como da prática de actividades industriais e agrícolas.

Não é expectável grande variação das propriedades das águas subterrâneas, já que beneficiam de protecção natural providenciada pelas várias camadas de terra que as separam da superfície.

Mas deve tomar-se consciência de que estas reservas não estão imunes à contaminação por agentes exteriores. Por vezes criam-se vias de escoamento vertical, por onde se infiltram escorrências superficiais. Daí ser recomendada a prática de submeter a água captada a testes laboratoriais, quando para consumo humano.

As características das águas superficiais podem sofrer grandes variações ao longo do tempo. Faz-se sentir acentuadamente o efeito da precipitação, o efeito de práticas de cultivo sazonal e das descargas de efluentes industriais. O grupo das substâncias denominadas por DNAPL's – *Dense Nonaqueous Phase Liquids* – onde se incluem produtos químicos utilizados na limpeza, preservação de madeiras, asfalto, reparação automóvel e de maquinaria, e equipamentos eléctricos, sendo mais densos do que a água, têm tendência a depositar-se nos leitos dos rios, a infiltrar-se em aquíferos – na inexistência de barreiras físicas (naturais) – e a contaminar o solo em geral. Uma vez atingida a camada impermeável processa-se o espalhamento segundo o plano horizontal, por força da gravidade e/ou da pressão exercida a montante. Ocorre simultaneamente uma lenta e prolongada dissolução destas substâncias no meio aquoso, tão mais acentuada quanto a área abrangida, resultando daqui uma fonte de poluição contínua, difícil de detectar, caracterizar e remediar.

Os organismos patogénicos microscópicos presentes na água bruta incluem protozoários, bactérias e vírus. São responsáveis por doenças ou mal-estar como fadiga, vómitos, perda de peso, disenteria, diarreia e febre.

Os protozoários são os de maiores dimensões, oscilando entre 2 a 15  $\mu\text{m}$  (micron); têm no entanto a capacidade de transpor poros mais apertados, pelo que no sentido de impossibilitar a sua passagem, deve, pelo menos, apertar-se a dimensão dos filtros até 1  $\mu\text{m}$ . Protozoários como *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium* têm sido inclusivamente responsáveis pela ocorrência de mortes humanas, normalmente afectando mais as pessoas idosas, as crianças e os já adoentados. As bactérias são menores do que os protozoários, variando as suas dimensões entre os 0,2 e 0,6  $\mu\text{m}$ . A *Escherichia coli*, ou simplesmente *E. coli*, é das mais frequentes. Geralmente inofensiva, e até benéfica na normal regulação da flora intestinal tem, no entanto, variantes como a O157:H7 merecedora de maior preocupação. Produz e liberta poderosas toxinas responsáveis por doenças sérias. Afecta principalmente crianças e idosos podendo provocar a síndrome urémico hemolítica; uma enfermidade infecto-contagiosa que se caracteriza por insuficiência renal, anemia hemolítica, problemas neurológicos e de coagulação sanguínea.

Os vírus são depois dos protozoários os organismos patogénicos mais preocupantes, e, à semelhança destes, não representam geralmente perigo letal para um adulto saudável. São dos aqui mencionados, os de menores dimensões, compreendidas entre os 0,020 e 0,030  $\mu\text{m}$ , sendo demasiado pequenos para serem filtrados mecanicamente. São responsáveis por sintomas, doenças e mal-estar tais como febre, náuseas, mialgia, diarreia, vómitos, pneumonia, bronquite, icterícia e depressão entre outros.

Existem vários métodos de tratamento/purificação da água. Podem separar-se em dois grandes grupos: métodos físicos e químicos.

### **Métodos físicos:**

A fervura consiste em levar um volume de água até ao seu ponto de ebulição (100° C). Atingindo esta temperatura eliminam-se todos os organismos patogénicos. No entanto, é aconselhável prolongar o processo da fervura durante 5 a 10 minutos. Poderão obter-se resultados igualmente satisfatórios aquecendo a água a temperaturas inferiores, mas durante períodos mais alargados.

É um processo muito dispendioso; existem ainda assim alguns pequenos dispositivos domésticos, que recuperam parte da energia dispensada para efeitos de aquecimento ambiente. Sendo um dos mais antigos processos de purificação, mantém-se como uma boa opção quando na indisponibilidade de outras.

Na osmose inversa força-se a água a atravessar uma membrana impermeável à maioria dos contaminantes, exercendo para tal uma pressão. As membranas utilizadas têm mais eficácia com sais minerais do que com ácidos, bases e pequenas moléculas orgânicas – fenóis, hidrocarbonetos clorados, pesticidas, álcoois de menor peso molecular. Elementos de maiores pesos moleculares bem como os organismos patogénicos são eficazmente retidos.

A pressão necessária para dessalinizar água do mar é da ordem dos 6,9 MPa. Com este método é possível obter água quase pura, pelo que exige posterior mineralização.

A destilação da água é um método que consiste na evaporação da água e posterior condensação dos vapores. As substâncias cujo ponto de ebulição seja superior ao da água (100° C) ficam retidas. No entanto, todas aquelas em que tal não se verifique acompanharão os vapores de água e condensarão com estes. É o caso de hidrocarbonetos como a gasolina, e álcoois.

Este método é eficazmente utilizado na retenção de sais e minerais dissolvidos. Exige muita energia, já que o volume de água tem que permanecer a altas temperaturas até ser condensada a quantidade pretendida.

Os microfiltros são filtros de pequena dimensão individual, com particular eficácia na remoção de sólidos em suspensão, protozoários, quistos (também designados por cistos), e algumas bactérias. São normalmente reutilizáveis pois tiram partido de materiais cerâmicos e fibrosos que podem ser lavados, recuperando a performance inicial. São frequentemente utilizados em operações militares e humanitárias, mesmo sabendo-se que não removem vírus.

Os filtros lentos de areia constituem outro método físico de purificação da água. O seu processo de funcionamento consiste em fazer passar, lentamente, um volume de água através de uma camada de areia e de brita. Estes filtros são normalmente materializados por caixas ou depósitos em betão armado, onde é então disposta uma camada de areia sobre uma outra camada inferior de brita. Há o cuidado de não estabelecer contacto entre esta camada inferior e a superfície das paredes em betão, que se pretende que seja rugosa. Estes dois aspectos pretendem reduzir a possibilidade de se estabelecer um caminho preferencial que a água poderia seguir, sem passar através da camada de areia.

O bom funcionamento destes filtros resulta da formação de uma película biológica composta por diversos organismos vivos como bactérias, protozoários, fungos, e mesmo insectos e larvas (biofilme), que, aderindo ao material inerte (areia e brita), por efeito de adsorção, retêm muitas das substâncias indesejáveis, metabolizando os compostos orgânicos assim encurralados.

Trata-se de um método com excelentes performances de tratamento, e por isso amplamente utilizado pelas entidades municipais (*utilities*), sobretudo nos países desenvolvidos.

Este método é apropriado para funcionamento em regime de continuidade; sempre que se preveja que o seu funcionamento seja intermitente, dever-se-á ponderar cuidadosamente a sua implementação, em virtude dos encargos financeiros e do esforço de manutenção que acarreta.

É também importante que a água a tratar por este método seja já muito pouco turva, isto é, com poucos sólidos em suspensão. Respeitando tais condições, é possível reciclar periodicamente o material inerte, sujeitando-o para tal a lavagem através de água limpa em abundância.

O princípio de funcionamento de filtros de carvão activado é semelhante ao do método anterior. O carvão tem um poder de adsorção capaz de atrair e fixar na sua superfície diversas substâncias presentes na água. À semelhança do que acontece nos filtros lentos de areia, também aqui se cria um biofilme responsável pela metabolização de compostos orgânicos, e que, à medida que adensa, potencia a capacidade de filtração. É também apropriado para a retenção de vários químicos (herbicidas, pesticidas, cloro) e metais pesados. O carvão activado sofre um prévio tratamento no sentido de aumentar a sua superfície específica; optimiza-se desta forma a capacidade de adsorção do material.

Outro método físico é o da radiação ultravioleta (UV). Incidindo sobre microrganismos patogénicos, esta radiação provoca uma reacção fotoquímica capaz de danificar componentes vitais do seu metabolismo celular, inactivando-os ou destruindo-os. Constitui um processo físico

de desinfecção, mas toma lugar neste capítulo pelo consumo elevado de energia que lhe está associado.

Virtualmente, uma ampla dose deste tipo de radiação destruirá todos os microrganismos indesejáveis. Existem no entanto preocupações com a eventual protecção que sólidos em suspensão poderão providenciar aos microrganismos, absorvendo a radiação UV no lugar destes. Elementos como nitritos, ferro e fenóis são absorventes da radiação UV, daí ser imperativa uma anterior remoção destas substâncias, sendo por isso habitual ser esta a última fase do processo de tratamento na ETA, imediatamente a montante da entrada no sistema de distribuição. Já a presença de ozono promove a eficácia da acção da radiação UV. O estado de limpeza e conservação das lâmpadas deverá também merecer atenção.

A dosagem de radiação UV necessária para a desinfecção de protozoários é substancialmente superior àquela capaz de eliminar pequenos vírus e bactérias.

Este método não permite deixar um residual capaz de providenciar desinfecção secundária, já que ao dissipar-se no meio aquoso, esta radiação é rapidamente absorvida.

Este método é muito interessante do ponto de vista da formação de SPD. Como não actua por interacção química, não produz SPD's de qualquer espécie. No entanto impõe que se recorra a um outro desinfectante com capacidade de deixar um residual, para eventuais contaminações ao longo do SD.

Como a radiação UV é energia sob a forma de ondas electromagnéticas, a sua performance desinfectante não é afectada pelas características químicas e físicas da água. Estudos da *American Water Works Association* (AWWA) e da *American Society of Civil Engineering* (ASCE) referem que parâmetros como o pH, a temperatura e a concentração de carbono total, não interferem no processo de desinfecção. A incidência desta radiação não altera também as características mineralógicas da água, conservando assim as suas propriedades físico-químicas.

Um aspecto importante a referir é o de que após a incidência de radiação UV poderá ocorrer reactivação de alguns microrganismos patogénicos, se expostos à luz solar – radiação visível – num processo designado por foto reactivação, adquirindo portanto capacidade para se reproduzirem.

Os custos associados a este método, bem como a incapacidade de deixar residual, têm sido as mais fortes razões para a sua não implementação.

### **Métodos químicos:**

A cloração, ou adição de cloro à água constitui desde o início do século XX, uma das principais práticas de purificação, sendo amplamente utilizado pelas *utilities* nos países desenvolvidos. As vantagens deste método passam por:

- Ser um potente desinfectante, eliminando ou neutralizando organismos patogénicos;
- Permitir deixar um residual dissolvido, facilmente medido e controlado, que acompanhe a água tratada desde a ETA até ao consumidor final (em tubagens e reservatórios) actuando sobre qualquer organismo que venha eventualmente a desenvolver-se ou a penetrar o sistema de distribuição;
- Actuar na eliminação de cor, odor e sabor, oxidando muitas substâncias que conferem tais características à água;
- Controlar a qualidade química da água, destruindo amoníaco, sulfureto de hidrogénio, compostos nitrogenados indesejáveis bem como ferro e manganês;
- Por ser um método de tratamento amplamente utilizado ao longo de vários anos com bastante sucesso, e considerado já um clássico, assegura elevado nível de garantias;
- Por melhorar a qualidade da água, promovendo a performance de etapas de tratamento posteriores como filtração e sedimentação;
- Por ser muito económico, comparativamente com outros métodos químicos e físicos.

O cloro para efeitos de tratamento de água é habitualmente utilizado sob as formas de cloro gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio. Ambos os hipocloritos podem ser adquiridos em solução aquosa ou em bloco sólido.

No entanto, a aplicação de cloro implica alguns problemas ou desvantagens. Quando injectado em doses excessivas confere odor e sabor desagradável à água. O manuseamento de cloro gasoso implica muitos cuidados, uma vez que este gás é corrosivo, exigindo reservatórios especiais que assegurem o seu armazenamento em segurança. Habitualmente, as formas hipocloradas são menos económicas. O hipoclorito de sódio degrada-se com o tempo e com a exposição à luz, sendo também um produto químico corrosivo. O hipoclorito de cálcio necessita de ser armazenado em local fresco e seco, dada a sua elevada reactividade quando na presença de calor e humidade. O cloro aplicado à água é menos eficaz a elevado pH, e quando mal doseado pode deteriorar, a jusante, os processos de filtração e coagulação de compostos orgânicos dissolvidos. Mas um dos problemas mais sensíveis associado a este método de tratamento químico prende-se com a formação de produtos perigosos à saúde humana. O cloro, juntamente com bromo, ao reagir com matéria orgânica natural presente na água, como ácido húmico e fúlvico (precursores) origina os designados subprodutos da desinfecção, onde se destacam os trihalometanos (THM) e os ácidos haloacéticos (HAA).

O iodo é igualmente um elemento usado na desinfecção. A sua utilização iniciou-se por militares após a segunda Grande Guerra, como substituto das tabletes de halazono. É preferível ao cloro quando aplicado em poços/charcos de água. É também mais robusto do que este, já que não é tão sensível ao pH, à presença de compostos orgânicos, sendo mesmo eficaz em pequenas doses. Em algumas pessoas pode implicar problemas alérgicos, a longo prazo. É considerado um método seguro, tendo já sido usado sobre a população prisional da Florida ao longo de 15 anos, não se lhe conhecendo qualquer tipo de implicações ao nível da tiróide, em indivíduos adultos saudáveis. No entanto, inúmeros estudiosos têm relutância em recomendar a sua utilização a longo prazo.

A prata é um elemento outrora utilizado para efeitos de desinfecção. A sua acção está comprovada sobre bactérias e protozoários, supondo-se eficaz em vírus, também. Acontece que resulta da sua ingestão o desenvolvimento nos humanos de uma coloração azul-acinzentada que afecta os olhos, a pele e as membranas mucosas, tendo por isso sido impostos limites máximos na sua aplicação – 50 ppm nos Estados Unidos. Estes sintomas surgem após uma acumulação corporal superior a 1 grama, tendo um cientista estimado que tal quantidade seria igualada em 27 anos de consumo com água tratada a 50 ppm.

As formas de aplicação mais comuns passam pelos sais; normalmente o nitrato de prata (uma suspensão coloidal) ou uma superfície de prata em contacto com a água. Poder-se-á também recorrer à electrólise para introduzir prata na água.

O permanganato de potássio caiu em desuso nos países desenvolvidos. O seu custo proibitivo, e a sua ineficácia como desinfectante estão entre os principais motivos. A sua principal aplicação diz respeito ao controlo de sabores e odores, remoção de cor e inibição do crescimento biológico na ETA. Na mesma linha encontram-se as suas capacidades de remoção de ferro e manganês. Numa segunda ordem de funções, vem o controlo da formação de subprodutos da desinfecção com cloro (cloração), pelo efeito que tem na oxidação dos seus precursores e na redução das necessidades de desinfectante. Como referido anteriormente, neste último aspecto o permanganato de potássio deixa muito a desejar relativamente a outros desinfectantes, tendo sido comprovada a sua eficácia em apenas alguns vírus.

É um produto muito reactivo merecendo bastante prudência o seu manuseamento, pois é tóxico e irritante para a pele e membranas mucosas.

Esta substância requer muito tempo de contacto para que se obtenham resultados satisfatórios na água a tratar. Tem tendência para desenvolver uma coloração cor-de-rosa, e apesar de não gerar subprodutos na preparação da solução aquosa (concentrada) que posteriormente se adiciona à água a tratar, origina uns sólidos cristalinos de cor púrpura escuro, que poderão afectar os olhos e a pele, sendo inclusivamente fatais se ingeridos. A referida coloração cor-de-rosa desenvolve-se em função do tempo de contacto do permanganato de potássio com a água. Este facto constitui uma importante desvantagem deste desinfectante como substância residual.

A coagulação/floculação consiste num método de aglutinação das suspensões da água, criando flocos com dimensão suficiente para sedimentarem mais rapidamente. Ainda que este método não destrua organismos patogénicos, tem um papel importante no processo de tratamento global, já que, para além de remover parte deles, remove também partículas que poderiam servir-lhes de protecção contra agentes desinfectantes e tratamento térmico de eliminação, bem como removendo matéria orgânica presente na água, deixa o desinfectante residual (aplicado a jusante) livre para incidir sobre os organismos patogénicos.

A maioria dos agentes coagulantes, como o alumínio, é removida na própria coagulação/floculação, apesar de questões que se possam levantar devido à sua toxicidade. Existe pouca informação a respeito deste aspecto.

A dose a aplicar é função do pH da água a tratar, e da dimensão das suspensões. A turvação facilita o objectivo deste método, já que aumenta o número de colisões entre as partículas, potenciando a sua aglutinação. Após a aplicação do agente aglutinador, a água é agitada durante um curto período, cerca de 5 minutos, ocorrendo então várias colisões entre as partículas que formam flocos maiores, esperando-se que a sua sedimentação esteja terminada ao fim de sensivelmente 30 minutos. O restante volume de água, livre de suspensões, pode então ser recolhido.

O dióxido de cloro não deve ser confundido com o cloro e a cloração anteriormente já abordada. Este químico foi introduzido como desinfectante durante a década de 1940, sendo já conhecida esta sua capacidade desde o início do século. É um composto neutro, que actua pelo seu poder de oxidação. É muito volátil, e sendo uma molécula relativamente pequena e energética reage violentamente com agentes redutores quando se encontra altamente concentrado. No entanto é estável quando diluído em solução aquosa protegida da luz; é aproximadamente 10 vezes mais solúvel em água do que o cloro, sobretudo em água morna. Como tem elevado poder explosivo sob pressão – a partir dos 10% em volume – não pode ser armazenado e transportado em garrafas e reservatórios. As soluções aquosas de alta concentração têm tendência para libertar gás, o que poderá, pelos motivos anteriores, ser problemático, já que na atmosfera fechada (isolada pelo vasilhame) as concentrações podem exceder o limite crítico. É então habitual ser produzido no local, a partir de clorito e clorato de sódio.

É sabido que o dióxido de cloro não resiste à acção dos raios UV, de origem solar ou de lâmpadas fluorescentes; deve ser implementada protecção adequada sempre que se preveja tal exposição.

A formação de subprodutos inorgânicos pode exceder os limites permitidos, o que poderá inviabilizar a aplicação do dióxido de cloro como desinfectante, se não forem retirados posteriormente.

Uma das aplicações mais comuns refere-se à eliminação de odores e sabores conferidos por algas/vegetação presentes na água, e por fenóis. É também utilizado para oxidação de ferro, sulfitos e manganês.

É incontornável a comparação do dióxido de cloro com a cloração. As suas propriedades desinfectantes conferem-lhe vantagem sobre o cloro (cloro gasoso, hipocloritos de sódio e de cálcio). Conserva a sua forma molecular sob a gama de pH habitualmente característica da água bruta captada. Apesar de o seu mecanismo de actuação não ser bem conhecido, já que se supõe ser função do tipo de organismo patogénico sobre o qual actua, é consensual o seu grande potencial como oxidante e desinfectante. À semelhança do cloro, a sua eficácia diminui com o decréscimo da temperatura. A matéria em suspensão e os organismos patogénicos agregados afectam também a eficácia da desinfecção.

Na generalidade o potencial bactericida – eliminação/neutralização de bactérias – do dióxido de cloro é considerado equivalente ou superior ao do cloro. O mesmo se aplica quanto a protozoários, tendo sido consideradas eficazes as suas características desinfectantes sobre vírus. À semelhança da cloração, a desinfecção com dióxido de cloro permite deixar um residual capaz de controlar o crescimento de organismos patogénicos ao longo do sistema de distribuição.

Um dos inconvenientes deste método de desinfecção prende-se com os custos que lhe estão associados, já que o clorito de sódio é caro, comparativamente. A produção de odores representa outra desvantagem.

A capacidade desinfectante das cloraminas foi identificada no início do século XX, a partir do estudo da cloração, quando se descobriu que este processo de desinfecção compreendia duas fases distintas. Compreendeu-se que numa fase inicial o poder oxidante do cloro era responsável pelo seu potencial desinfectante. No entanto, quando na presença de amónia, sentiu-se que existia também capacidade de actuar como residual, mesmo depois de o cloro se ter dissipado. Esta segunda fase foi explicada pela acção de cloraminas inorgânicas, que se formam pela reacção de cloro aquoso com amónia.

Inicialmente utilizadas para controlo de sabores e odores, rapidamente se lhes reconheceu maiores vantagens, devido à estabilidade que oferecem ao longo dos sistemas de distribuição, tendo sido dos métodos mais adoptados durante as décadas de 1930 e 1940 para controlo do crescimento de bactérias. Actualmente este método é encarado de uma perspectiva bastante positiva, devido aos menores problemas com subprodutos que implica, comparativamente com o cloro e o dióxido de cloro.

As cloraminas incluem a monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), a dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e o nitrogénio triclorado ( $\text{NCl}_3$ ). A monocloramina é destas a mais utilizada para purificação de água de consumo, resultado da menor criação de odores e sabores comparativamente com as restantes variantes.

Actualmente a principal aplicação das cloraminas é como desinfectante secundário, no sentido de manter um residual ao longo do sistema de distribuição. As principais razões são as seguintes:

- A reactividade das cloraminas com compostos orgânicos não é tão elevada como a do cloro. Resultam pois menos subprodutos da desinfecção, nomeadamente trihalometanos.
- O residual da monocloramina é muito mais estável ao longo do sistema de distribuição do que o do cloro e dióxido de cloro, promovendo melhor protecção e controlo do crescimento de organismos patogénicos, sobretudo quando existam grandes reservatórios e zonas extremas de rede onde os caudais (e velocidades) sejam menores.
- O residual da monocloramina também é mais eficaz na acção sobre biofilmes devido à sua capacidade para neles penetrar. Com isto reduz-se a corrosão induzida e a concentração de coliformes.
- A menor reactividade das cloraminas com os compostos orgânicos resulta numa menor incidência de sabores e odores não desejados.

Resumindo, a escolha das cloraminas como desinfectante secundário prende-se com o facto de o seu poder desinfectante não ser tão eficaz sobre vírus e protozoários como o do cloro (desinfectante mais utilizado), mas também devido à estabilidade que estas oferecem ao longo do SD para efeito de (substância) residual.

A monocloramina pode ser produzida através da adição de amónia ao cloro aquoso anteriormente já aplicado ao volume de água a tratar, ou vice-versa.

A amónia é introduzida inicialmente quando se suspeite que a reacção de cloro com matéria orgânica presente na água possa desenvolver sabores e odores desagradáveis. Contudo a prática mais comum é a de aplicar inicialmente o cloro, no sentido de lhe permitir suficiente tempo de contacto para a eliminação de microrganismos patogénicos, numa fase de desinfecção inicial em ETA, que não a função de residual. Esta será posteriormente desempenhada pela monocloramina adicionando-se para tal a amónia ao volume de água, com o remanescente de cloro, efluente da ETA. Deve pois assegurar-se que ocorrerão tempos de contacto suficientes ao longo do sistema de distribuição que tenham em conta o menor poder desinfectante da monocloramina, que é bastante inferior ao do cloro.

Relativamente a subprodutos da desinfecção é de referir que a aplicação de monocloramina resulta em quantidades muito aquém de níveis alarmantes. Existe contudo uma preocupação que se refere ao processo de formação das cloraminas, isto é, da reacção entre cloro e amónia. Os dois reagentes não se misturam instantaneamente, o que permite ao cloro aquoso remanescente

oxidar, entretanto, matéria orgânica presente e desenvolver em quantidades preocupantes subprodutos como os trihalometanos.

A cloraminação tem no entanto alguns impactos que deverão merecer atenção. A presença de amónia em excesso promove o crescimento de algumas bactérias que dela se alimentam, transformando-a em nitritos e nitratos. Isto é preocupante uma vez que estas substâncias, quando ingeridas através da água para consumo, são responsáveis por doenças sérias, que levam inclusivamente à morte crianças e recém-nascidos. Entre os sintomas encontram-se dificuldades respiratórias e o surgimento de uma tonalidade azulada na pele. Também determinam o consumo de cloro aquoso existente, quer pela desinfecção das bactérias, quer pela oxidação dos nitratos e nitritos, decorrendo daí um consumo de cloro não previsto inicialmente. Deve então determinar-se a quantidade de amónia presente na água a tratar, e tê-lo em conta aquando da dosagem.

Entre as maiores vantagens das cloraminas devem referir-se o seu baixo custo e a facilidade com que são produzidas. Contudo a sua produção terá necessariamente que ser feita *in situ*.

O Ozono é uma substância química cuja molécula é composta por três átomos de oxigénio. No âmbito do tratamento de água é um desinfectante muito potente, comparativamente com o cloro, dióxido de cloro e cloraminas, exigindo por isso menor tempo de contacto que estes últimos.

À temperatura ambiente é um gás incolor de odor forte, facilmente detectável. É uma substância instável, com tendência para se decompor em oxigénio molecular ( $O_2$ ), e por esta razão não permite deixar um residual em suspensão para efeito de tratamento secundário, impondo igualmente que a sua produção/sintetização seja feita *in situ*, isto é, na ETA. Geralmente recorre-se a dispositivos eléctricos que dispõem de superfícies electrificadas – eléctrodos – por onde se faz passar um fluxo de oxigénio ou eventualmente ar atmosférico, formando ozono. Esta reacção é endotérmica, requerendo bastante energia, sendo este o motivo pelo qual este método é englobado neste subcapítulo, embora haja a clara noção de que teria lugar junto dos métodos químicos. Os equipamentos de produção de ozono mais modernos são muito automatizados e requerem pouca manutenção. São no entanto muito caros e complexos. A sua manutenção requer pessoal altamente especializado.

O consumo de  $O_3$  está normalmente associado à oxidação de matéria orgânica, desinfecção e oxidação de poluentes inorgânicos (ferro e manganês), fenóis e alguns pesticidas, ao controlo de odores e sabores, à remoção de cor, ao controlo de precursores dos SPD, e à diminuição das necessidades de cloro residual. É também eficaz na melhoria da performance de fases de tratamento posteriores, tais como a coagulação e filtração.

A aplicação de ozono produz também efeitos indesejáveis. É um oxidante potente que pode reagir com outros desinfectantes como o cloro, dióxido de cloro e cloraminas. Como resultado da sua acção, produz-se matéria orgânica biodegradável que, se não eliminada atempadamente por filtração, poderá acentuar a actividade microbiológica e consequentemente a acção corrosiva sobre o material dos SD. A oxidação de ferro e manganês geram óxidos insolúveis que devem ser removidos por sedimentação ou filtração.

Foram já anteriormente referidas as boas capacidades desinfectantes do ozono. É de facto muito eficaz a sua acção sobre as bactérias. Vários estudos concluem que pequenas quantidades de ozono dissolvido são suficientes para inactivar 99,99% de *E. coli.* e *Legionella pneumophila*, por exemplo. Já os protozoários são mais resistentes à acção desinfectante do ozono. São por isso necessárias maiores concentrações de ozono e maiores tempos de contacto para obter resultados satisfatórios. Tipicamente, os vírus são também mais resistentes do que as bactérias.

Os subprodutos resultantes da desinfecção com ozono não incluem formas halogenadas como trihalometanos e ácidos haloacéticos. Porém, se a água a tratar contiver bromo, é expectável o seu aparecimento. Resultam ainda deste processo de desinfecção outros subprodutos menos preocupantes como aldéidos e alguns ácidos.

Pode dizer-se que as maiores vantagens da aplicação de ozono se referem à diminuição da necessidade de cloro residual, à possibilidade de este ser aplicado em fases mais a jusante do processo de tratamento, e à diminuição da incidência de SPD halogenados.



No âmbito da água para consumo humano, o objectivo final do tratamento têm sido o mesmo desde há muitos anos: o de produzir água mineral, biológica e quimicamente segura, apelativa ao consumidor, e isenta de cor, odor e sabor. Para este propósito existem hoje várias tecnologias disponíveis. A concepção das estações de tratamento é actualmente bastante complexa, resultado da oferta de métodos existente, e dos parâmetros impostos pela regulamentação em vigor, cada vez mais exigente quer na óptica do consumidor, quer também para a preservação ambiental. Estes métodos, já anteriormente abordados, têm vantagens e desvantagens muito próprias, que devem ser assumidas na escolha da melhor tecnologia que a aplicar.

Importantes avanços ao nível legislativo têm ocorrido nos Estados Unidos. O *Safe Drinking Water Act* (SDWA), com a sua emenda de 1986 incumbiu a *Environmental Protection Agency* (EPA) de definir qual a “melhor tecnologia aplicável”, estabelecendo-se dessa forma um importante referencial pela entidade supervisora no que diz respeito à concepção dos sistemas de tratamento de água.

Para a turvação, cor e controlo microbial de águas superficiais esta agência recomenda como melhor tecnologia a filtração. Existem pois vários tipos de filtração, sejam eles, a filtração convencional, directa, lenta em areia, de membranas e diatomito (terra de diatomáceas).

Para a inactivação de microrganismos sugere a desinfecção. Os desinfectantes típicos mais utilizados foram anteriormente já enunciados.

Para a remoção de contaminantes orgânicos de águas superficiais indica métodos como o carvão activado (granular e em pó), a torre de arejamento, arejamento difuso, processos avançados de oxidação e a osmose inversa [11].

Para a remoção de contaminantes inorgânicos recomenda a filtração por membranas, a permuta iónica, a aplicação de alumina activada, o carvão granular activado [11].

Para o controlo da corrosão estabelece como melhor tecnologia aplicável, o ajuste de pH e o recurso a inibidores de corrosão [11].

Uma configuração frequente de uma estação de tratamento de água para consumo humano é a que a seguir se apresenta:

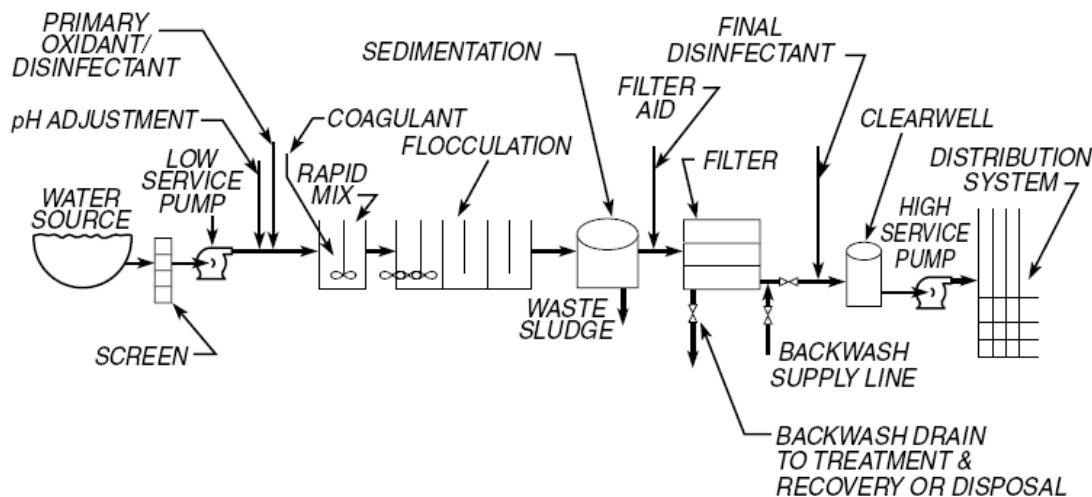


Figura 1.1 – Esquema de uma ETA: processo de tratamento convencional

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water: Formation, Analysis and Control [9]

A pré-oxidação destina-se à eliminação de microrganismos, à destruição de algas e oxidação de matéria orgânica. A adição de um coagulante condiciona as características de estabilidade das matérias em suspensão, nomeadamente dos colóides. Formam-se então flocos que começam a sedimentar após atingirem dimensão ou peso suficiente. A água clarificada é posteriormente filtrada para assegurar que mesmo as partículas mais pequenas e menos densas sejam retidas.

Segue-se a desinfecção final que deve ter em consideração o tempo que a água demorará até atingir o local de consumo.

As tecnologias hoje disponíveis permitem tratar a água até ao grau de pureza pretendido. A concepção dos sistemas de tratamento deve ter em consideração aspectos de ordem técnica dos equipamentos e procedimentos, de ordem regulamentar, e dos custos associados.

Muita evolução tecnológica se tem sentido no âmbito dos processos de tratamento de água, impulsionada certamente pela crescente exigência manifestada através da legislação. Contudo, é verosímil afirmar que a essência dos métodos de tratamento se tem mantido constante ao longo das últimas décadas. A filtração será sempre filtração; a desinfecção conservará sempre os mesmos princípios e objectivos, etc. Fruto da experiência decorrida, a performance dos métodos de tratamento tem sido optimizada. Também as tecnologias de informação são cada vez mais aplicadas. Sistemas de monitorização e controlo remoto têm permitido importantes desenvolvimentos na aquisição de dados e orientação instantânea dos processos de tratamento, o que representa indiscutivelmente um factor valiosíssimo.

Os autores brasileiros Richter e Netto sumarizam da seguinte forma os efeitos dos principais processos de tratamento de água:

Atributos	Arejamento	Sedimentação Simples	Filtração Lenta	Coagulação Filtração Rápida	Correcção Dureza	Desinfecção Final (cloração)
Bactérias	0	++	++++	++++(1)	+++ (2)	++++
Cor	0	0	+++	++++	++++	0 (13)
Turvação	0	+++	++++(3)	++++	+++++	0
Odor e Sabor	++++ (4)	+	+++	++	++	++++ (5-6)
Dureza	+	0	0	-- (7)	++++	0
Corrosibilidade	+++ (8) -- (9)	0	0	-- (10)	Variável	0
Ferro e manganês	+++ (12)	+(11)	++++ (11)	++++ (11)	++	0

Tabela 1.1 – Efeitos dos processos de tratamento de água (Richter e Netto; adaptado de Beleza)

Legenda: + Efeito favorável; - Efeito desfavorável.

(1) - De forma um pouco irregular;

(2) - Tratamento com excesso de cal;

(3) - Rápida colmatação;

(4) - Com excepção de sabores incutidos por clorofenóis;

(5) - Supercloração seguida de descloração;

(6) - Cloração convencional;

(7) - A coagulação com sulfato de alumínio transforma a dureza de carbonato em dureza de sulfato;

(8) - Através da remoção de dióxido de carbono;

(9) - Pela adição de oxigénio;

(10) - A coagulação com sulfato de alumínio liberta dióxido de carbono;

- (11) - Após arejamento;
- (12) - Arejamento seguido de uma unidade separadora para deposição;
- (13) - Pode remover o ferro afectando favoravelmente a cor.



## **2**

# **Qualidade da água nos Sistemas de Distribuição**



As estações de tratamento de água executam vários processos físico-químicos que sucessivamente purificam a água bruta captada. Esta, porém, sofre variações periódicas/sazonais das suas características, que a ETA deve poder comportar.

Mas não só ao nível do tratamento de água (ETA) se sentem variações importantes da qualidade. Após a entrada no sistema de distribuição, o volume de água é sujeito a solicitações que alteram as suas características físico-químicas e microbiológicas, consequência de inúmeros fenómenos que ocorrem no seio da água, e também da interacção ou contacto com os materiais que constituem o próprio sistema de distribuição. Não devem nunca ser descurados este tipo de fenómenos, em prejuízo, quer de o consumidor se sentir insatisfeito com a irregularidade do produto que efectivamente compra, quer inclusivamente pelos problemas de saúde pública que daí poderiam resultar. Porém, esta questão nem sempre é considerada prioritária, comparativamente com o funcionamento hidráulico da rede de abastecimento, tornando-se relevante apenas quando sucedem episódios lamentáveis de grande degradação da qualidade da água fornecida. De uma forma pragmática deve assumir-se que a qualidade do serviço se mede à porta do consumidor, já que este é o seu destinatário final.

Anteriormente houve já oportunidade de se referirem as importantes virtudes que advêm, recentemente, da implementação de sistemas de telegestão, monitorização e controlo remoto. O seu contributo passa por possibilitar uma resposta rápida às oscilações sentidas ao longo do sistema, optimizando os recursos que lhe são afectos. Afortunadamente mais recursos estão hoje também ao dispor dos gestores e projectistas de sistemas de abastecimento e distribuição de água para consumo. Os mais recentes programas informáticos incorporam ferramentas de modelação matemática da qualidade e do escoamento hidráulico ao longo do sistema. Este tipo de simulação permite um melhor desenvolvimento da concepção e dimensionamento, ao nível de projecto, que se traduzem efectivamente em significativas economias na construção e principalmente na gestão e manutenção do sistema, revelando-se mais económicas que a simulação em modelo real. No que respeita à evolução da qualidade da água, permitem por exemplo optimizar a desinfecção (isto é, a aplicação de desinfectante residual), pelo contributo na definição da localização das estações de re-cloragem e na quantificação dos subprodutos resultantes.

A utilização destas ferramentas pressupõe que se proceda a uma rigorosa calibração do modelo hidráulico, nomeadamente quando se trata da exploração de um sistema já implantado, mas ainda assim, constituem sem dúvida, e como atrás já referido, uma importante ferramenta ao nível de projecto, ainda que de um modelo teórico se trate. A calibração do modelo existente deverá ser periodicamente revista, já que as características das superfícies interiores das condutas, reservatórios e acessórios se vão alterando gradualmente pelo efeito da corrosão, deterioração, alojamento de biofilmes, etc.

Como se disse anteriormente, no que diz respeito aos SD, os aspectos que têm merecido maior importância referem-se às características do comportamento hidráulico; tradicionalmente, a garantia de pressão e de caudal para satisfazer as necessidades e o conforto dos consumidores. Os aspectos referentes à evolução da qualidade da água ao longo do SD só mais recentemente têm merecido maior atenção.

As leis físicas que regem o escoamento hidráulico de um sistema de distribuição de água, sendo já dominadas desde há muitos anos, têm permitido estudar, de uma forma fidedigna, o comportamento hidráulico das redes de abastecimento de água. A evolução da qualidade da água ao longo do tempo carece ainda de algum desenvolvimento, nomeadamente o estudo das reacções químicas que ocorrem entre os desinfectantes residuais, as superfícies das condutas e acessórios do sistema, a matéria suspensa e/ou dissolvida e os subprodutos que daí resultam.

## **2.1 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**

O dimensionamento dos SD obedece a critérios hidráulicos (de garantia de pressão e caudal), e a parâmetros qualitativos. Antes de se avançarem concretamente mais factores que afectam directamente a qualidade da água, é curioso notar em que sentido o dimensionamento hidráulico

pode afectar a qualidade. O dimensionamento das redes hidráulicas tem em consideração situações de combate a incêndio que exigem quase sempre caudais muito superiores aos dos consumos de outra ordem, nomeadamente os (consumos) domésticos. Por este motivo o dimensionamento das tubagens é inflacionado, resultando que em situação de funcionamento corrente se estabeleçam velocidades baixas e zonas de estagnação, sobretudo nos extremos da rede e locais de baixo consumo. Este excessivo volume de água armazenado dentro do próprio SD origina a depreciação da qualidade da água pelo envelhecimento que lhe está associado.

Vieira [1] refere alguns factores que determinam directamente a qualidade da água nos SD. Veja-se os abaixo indicados:

- As características físico-químicas e biológicas da água bruta captada;
- A adequação e a eficácia do processo de tratamento;
- A adequação dos reservatórios e das tubagens;
- A qualidade da água tratada nas Estações de Tratamento de Água, tendo em conta diferentes origens e idades;
- E a operação e manutenção do SD.

À saída da ETA são mínimos os níveis de organismos microbiológicos presentes na água. Existe, pois, tendência para a subida destes níveis, num processo designado por *regrowth* – crescimento populacional. Pode ser provocado pela reprodução da população microbiológica que escapa à etapa final da desinfecção na ETA, num fenómeno designado por *breakthrough*, mas também pela contaminação externa, num fenómeno designado por *ingress*. O primeiro é o menos problemático; é precisamente no sentido de o prevenir que se adiciona um desinfectante residual, actuando ao longo da distribuição. Os problemas associados poderão ser de natureza organoléptica, com a criação de odor, sabor, e cor indesejável. Já o segundo, que resulta por exemplo de roturas, depressões (isto é, pressões negativas dentro da tubagem), é muito mais difícil de caracterizar, dificuldade que impede estabelecer correctamente a localização e doseamento de uma estação de re-cloragem capaz de anular a entrada adicional de microrganismos. Este é pois um fenómeno muito mais preocupante que o primeiro referido.

É necessário compreender que o circuito hidráulico representa um autêntico ecossistema biológico, bem como um reactor químico onde ocorrem reacções entre desinfectantes e matérias existentes. O *regrowth* origina o crescimento de populações de plâncton com a capacidade de aderirem à superfície interior da tubagem formando biofilmes, o que é problemático na medida em que, e de acordo com Haslay e Leclerc, em Vieira [1] esta matéria orgânica:

- Monopoliza parte da dose de desinfectante destinado à eliminação/neutralização de microrganismos;
- Aumenta a formação de subprodutos indesejáveis;
- Pode, ao ser arrancada da superfície, transmitir microrganismos para o meio aquoso, conferindo-lhe ainda sabores e coloração;
- Serve de leito de repouso a microrganismos que tenham sido lesados pela desinfecção final na ETA, podendo aqui recuperar e posteriormente incorporar-se no seio da água;
- Corrói o material da tubagem transferindo para o meio aquoso partículas por vezes nocivas.

Um dos estudos mais completos, efectuado por Hanson et al, relatado em Vieira [1] e Beleza [2] diz respeito à análise da influência que várias características da água podem exhibir em função de factores como:

- O local – influência da distância do local em estudo à origem da água (ETA);
- A tubagem – influência que o tipo de superfície interior do circuito hidráulico poderá desenvolver;
- O movimento – caracterização da contribuição das condições cinéticas do escoamento (velocidade, turbulência);
- O tempo de permanência – influência da idade da água;
- Efeitos ambientais – caracterização do efeito de factores como a temperatura.

Este estudo envolveu um alargado número de amostras, cerca de 1500, e debruçou-se sobre características como o pH, a temperatura, cloro residual, oxigénio dissolvido, cloretos, fosfatos,



sulfatos, alcalinidade total, dureza total, turvação, alumínio, cádmio, cobre, cálcio, ferro, manganês, chumbo, zinco e contagem heterotrófica total (R2A).

As conclusões adiantadas pelos autores deste estudo são expostas nas seguintes tabelas, onde se faz uma correspondência entre as características da água e o factor responsável pela sua variação. A listagem dos resultados está orientada por ordem decrescente de influência; o efeito do movimento é superior ao do local, por exemplo.

Parâmetros com alterações significativas em todos os SD estudados	
Efeito de:	Parâmetros:
Movimento	+Temperatura; -Cl <sub>2</sub> ; +Zn; +Fe; +R2A; +Turvação
Local	-Cl <sub>2</sub> ; +Cu; +Fe; +Zn; Oxigénio dissolvido
Tempo de residência	R2A; -Cl <sub>2</sub> ; - Oxigénio dissolvido; +Fe; +Zn
Tubagem	Oxigénio dissolvido; Turvação; Cu; Fe
Temperatura	+R2A; -Oxigénio dissolvido; +Fe
Estação	-Temperatura; +Oxigénio dissolvido; Cl <sub>2</sub>

Tabela 2.1.1 – Alterações dos parâmetros de qualidade da água ao longo dos SD

Legenda:

(+) Indica que o valor do parâmetro aumentou significativamente;

(-) Indica que o valor do parâmetro diminuiu significativamente;

A ausência de prefixo indica que apesar de ocorrerem alterações elas não são sempre no mesmo sentido.

Parâmetros significativamente alterados apenas nalguns SD estudados
pH; Cálcio; Alumínio; Alcalinidade total; Cádmio; Chumbo; Dureza total; Manganês

Tabela 2.1.2 – Alterações dos parâmetros de qualidade da água ao longo dos SD

Parâmetros sem alterações nos SD estudados
Dióxido de carbono; Fluoretos; Fosfatos; Cloretos; Sulfatos; Coliformes totais

Tabela 2.1.3 – Alterações dos parâmetros de qualidade da água ao longo dos SD

Deve referir-se que os testes efectuados dizem, concretamente, respeito ao sistema particular em estudo, não devendo ser extrapolados sem critério para outros sistemas de abastecimento. Ainda assim note-se que o desinfectante residual aplicado, o cloro, sofre variações em função dos factores de movimento, do local, da idade da água, e das condições ambientais. Mais difícil é conseguir relacionar directamente os factores em estudo com os parâmetros microbiológicos, já que estes são igualmente função da concentração de desinfectante. Condicionantes de outra ordem, e aqui não caracterizadas, podem ser determinantes na evolução do desinfectante residual e dos microrganismos, nomeadamente a existência ou não de biofilmes.

## 2.2 DECAIMENTO DO CLORO

Na etapa final do tratamento de água na ETA, é adicionado uma dose extra de desinfectante especificamente para neutralizar o efeito nocivo que eventuais microrganismos presentes no meio aquoso possam representar para o consumidor. Esta prática está instituída em todo o mundo desenvolvido desde há vários anos a esta parte, sendo o cloro o desinfectante de longe mais utilizado. As vantagens da sua aplicação foram já abordadas anteriormente no I capítulo; recordando, elas passam pelo seu baixo custo, comparativamente com outros desinfectantes, por ser uma substância fácil de aplicar e manusear desde que salvaguardados alguns procedimentos de segurança, pelo seu grande poder oxidante e desinfectante, bem como por se tratar de um método amplamente utilizado desde há muito, oferecendo garantias e fiabilidade.

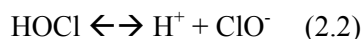
O cloro residual, à semelhança de qualquer outro desinfectante residual dissolvido no meio aquoso, permite identificar situações críticas. Um súbito abaixamento da sua concentração, em determinado ponto do SD, serve de alerta para uma eventual contaminação externa.

Este produto pode ser aplicado sob a forma de cloro molecular, ou sob a forma de sais – hipocloritos de sódio e de cálcio.

O cloro molecular, gasoso à temperatura ambiente, é a forma mais comum de aplicação deste desinfectante. O seu poder de dissociação no meio aquoso é extremamente elevado, demorando apenas alguns segundos a uma temperatura de 0 °C, e ainda menos, a temperaturas superiores. Como habitual, a temperatura acelera este processo... A reacção que sucede após a aplicação de cloro à água é a seguinte:



Por sua vez o ácido hipocloroso dissocia-se de acordo com:



Ambas as espécies – ácido hipocloroso e ião hipoclorito – poderão coexistir no seio da água, variando a sua concentração em função do pH. Assim, para níveis de pH compreendidos entre 6.5 e 8.5 a dissociação de HOCl é incompleta, estando então também presente no meio aquoso o ião ClO<sup>-</sup>. Para níveis de pH aquém de 6.5 não ocorre dissociação do ácido hipocloroso; já para níveis superiores a 8.5 regista-se uma forte tendência para a sua dissociação em ClO<sup>-</sup>. [5]

Outros autores situam o limite inferior e superior em pH de 7 e 8. [3]

Quando é aplicado sob a forma de sais de hipoclorito, o cloro dissocia-se no meio aquoso de acordo com a reacção,



para o hipoclorito de sódio, e de acordo com,



para o hipoclorito de cálcio.

Em qualquer um destes casos observa-se uma posterior dissociação do ácido hipocloroso, de acordo com a reacção (2.2).

Por fim, é de referir o facto de que se houver no meio aquoso a presença de produtos orgânicos ou azoto amoniacal ocorre a formação de cloraminas. Estas substâncias, anteriormente já analisadas, e indicadas também como possíveis desinfectantes residuais vêm obrigar a definir com mais cuidado a noção de desinfectante residual.

Designa-se como cloro residual aquele que é extra doseado, acompanhando a água tratada na ETA.

Entende-se por cloro residual livre o somatório das componentes de cloro molecular, ácido hipoclorito e ião hipoclorito.

Já por cloro residual combinado se designam as substâncias cloradas e as cloraminas.

Desta forma o cloro residual total deve ser compreendido pelas duas componentes de cloro residual, livre e combinado.

O gráfico seguinte, que traduz a evolução do cloro residual em função da dose aplicada, permite melhor compreender as considerações atrás expostas.

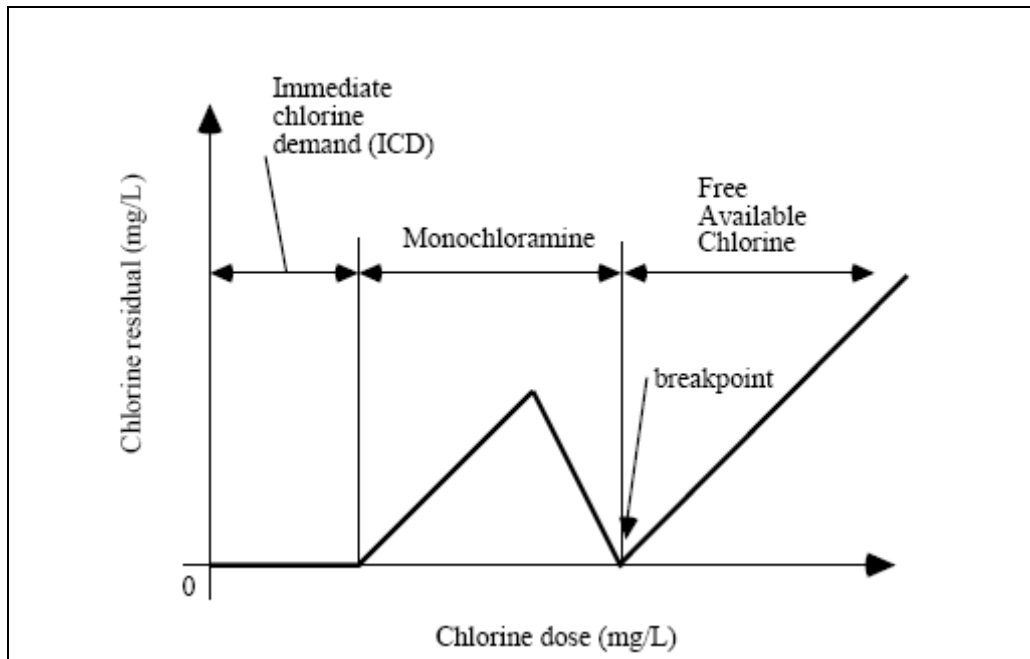


Figura 2.1 – Evolução da concentração de cloro residual em função da dosagem de cloro

Fonte: Chemical water and wastewater treatment processes - Capítulo X - Disinfection

O patamar inicial representa o consumo imediato de desinfetante. O seu grande poder de reacção não permite que se sinta qualquer aumento da concentração residual até se dar por terminada a oxidação de compostos como ferro e sulfido. Aumentando a dosagem, inicia-se um segundo fenómeno, que ocorre quando há a presença de amónia ou nitrogénio orgânico, traduzido por um aumento e posterior diminuição da concentração de cloro residual. A evolução ascendente representa a conversão de amónia em monoclóramina; a posterior dissociação desta em nitrogénio e nitrato é evidenciada pela diminuição do residual. Esta zona representa a componente de cloro residual combinado. Por fim, na última zona do gráfico assiste-se a um crescimento linear da concentração de cloro residual, onde se passa a contabilizar a contribuição do cloro molecular, do ácido hipocloroso e do ião hipoclorito.

É compreensível que a eficácia da desinfecção seja proporcional à concentração de desinfetante e ao tempo de contacto entre este e os microrganismos presentes na água. Neste sentido, muitos autores sugerem um parâmetro equivalente, habitualmente designado por Ct e que representa a multiplicação do tempo de contacto pela concentração de desinfetante. Naturalmente que uns microrganismos serão mais resistentes que outros. É comum associar-se o valor de Ct à eficácia da eliminação de vários microrganismos. Outros factores que influenciam a eficácia da desinfecção são também o pH, a temperatura e a turvação.

A desinfecção, isto é, a eliminação ou neutralização de microrganismos patogénicos, é promovida pela reacção entre o desinfectante e os ditos microrganismos. Isto é suficiente para se entender que, então, irá ocorrer uma diminuição da quantidade de desinfectante ao longo do sistema de distribuição. Porém outros factores poderão contribuir para o consumo de desinfectante residual. No trabalho efectuado por Beleza [2], refere-se que as causas do decaimento do cloro nos sistemas de distribuição passam pela:

- Existência de depósitos;
- Ocorrência de corrosão na tubagem;
- Presença de biomassa na parede da tubagem;
- Condições hidráulicas – idade, diâmetro, velocidade da água...

Outros autores [6], sinteticamente, afirmam que o consumo de cloro ao longo do SD se deve:

- À reacção com compostos orgânicos e inorgânicos presente no meio aquoso, geralmente amónia, sulfidos, ferro, manganês e compostos húmidos e fúlvicos;
- À reacção com o biofilme presente nas superfícies internas do SD (tubagens e reservatórios);
- Aos processos de corrosão das superfícies internas do SD.

Este decaimento do cloro residual pode ser muito problemático, na medida em que o seu total desaparecimento permite o desenvolvimento de microrganismos patogénicos perigosos para a saúde dos consumidores.

#### 2.2.1 – DECAIMENTO DO CLORO NO SEIO DO MEIO AQUOSO

No seio do meio aquoso o cloro desenvolve reacções químicas que podem ser tipificadas pelas seguintes três formas: reacções de oxidação, de substituição e de desinfecção.

A oxidação de um composto químico subentende uma troca de electrões, daí serem habitualmente designadas também por reacções oxidação-redução, ou mais simplesmente redox. Neste processo, o cloro actua como oxidante, ganhando um electrão da outra espécie química.

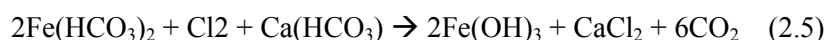
As reacções por substituição, como o próprio nome indica, referem-se à permutação de um elemento ou parte de uma molécula entre o cloro e outra espécie química.

Por último, é crença generalizada de que o mecanismo de desinfecção por cloro assenta na capacidade que esta substância possui para danificar o material genético dos microrganismos, atravessando ou destruindo a membrana celular destes, e afectando igualmente funções vitais do seu metabolismo.

Beleza [2] e Vieira [1], inspirados em White [*The Handbook of Chlorination*] descrevem de forma sintética nos seus trabalhos as principais reacções que o cloro desenvolve com matéria orgânica e inorgânica no seio do meio aquoso. Regra geral os compostos orgânicos são menos reactivos do que os inorgânicos, facilmente oxidáveis. Veja-se o que referem sobre os compostos inorgânicos.

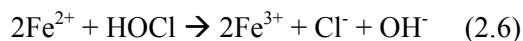
“Ferro: em abastecimento de água, o ferro tem origem normalmente em águas subterrâneas e não nas superficiais, e pode ainda surgir da degradação dos materiais metálicos do sistema de distribuição. A reacção desta espécie com o cloro residual consiste na oxidação do ião  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ .

Em geral, o primeiro está presente na água na forma de bicarbonato ligeiramente solúvel e o segundo hidrolisa rapidamente a hidróxido (dependendo da concentração em OH) que é um precipitado de cor avermelhada. A reacção global desta espécie pode escrever-se (omitindo o passo de formação do ião férrico), da seguinte maneira:

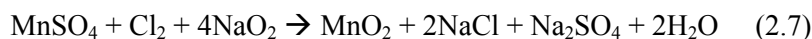


Esta reacção ocorre numa larga gama de pH (4 a 10) situando-se o valor óptimo a pH 7. Tanto o cloro livre como o combinado originam esta reacção, que é instantânea em solução. Porém, se o ferro estiver na forma de composto orgânico é já consideravelmente mais lenta. No caso da

adição de cloro na forma de hipoclorito, pode escrever-se uma reacção simplificada de oxidação do ferro:



Manganês: o cloro residual livre oxida compostos de manganês, formando dióxidos que precipitam. Porém, as cloraminas (cloro residual combinado) não reagem com esta espécie.



Esta reacção ocorre numa gama de pH 7-10, situando-se o óptimo no extremo superior deste intervalo. Nas condições de pH características das águas naturais, é uma reacção lenta que demora entre 2 a 4 horas até estar completa. Se o manganês estiver na forma de composto orgânico (p. ex. complexado por substâncias húmicas), a velocidade de reacção é ainda menor.

Amónia: as reacções do cloro com a amónia são sobejamente conhecidas, devido à utilização da técnica de desinfecção ao *breakpoint*:



Nestas reacções de substituição formam-se sucessivamente monoclорaminas, dicloraminas e tricloraminas (tricloreto de azoto), sendo as duas primeiras as predominantes nas águas de consumo. A velocidade de reacção do cloro com a amónia (2.8) varia consideravelmente, dependendo do pH e da temperatura. A velocidade máxima ocorre a pH 8.3 e diminui rapidamente com a diminuição ou aumento do pH.

A reacção (2.9) origina dicloramina a pH 7-8 se a razão molar inicial entre o HOCl e a amónia for 2:1 (10:1 em peso). Esta reacção é muito mais lenta do que a anterior, podendo demorar 1 hora para atingir 90% de conversão dos reagentes e até 5 horas a pH 8.5 (ao qual as concentrações de amónia são menores). O máximo de velocidade regista-se a pH 5. O tempo de reacção é de minutos se a amónia inicialmente se encontrar em excesso de 1 mg/l em relação ao HOCl, o que não é usual em águas de consumo sem contaminações.

A reacção (2.10) origina tricloreto de azoto a pH 7-8 se a razão molar inicial HOCl/amónia for de 3:1 (15:1 em peso). A cinética desta reacção é ainda pouco conhecida.

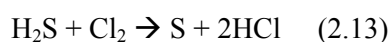
Cianetos: a pH superior a 8.5 o cloro reage com cianetos dando origem a cianatos:



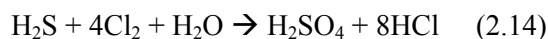
A pH entre 8.5 e 9.5, pode ocorrer a destruição completa do cianeto com formação de azoto gasoso, sendo o átomo de carbono convertido em bicarbonato:



Sulfureto de hidrogénio: em geral, o gás sulfureto de hidrogénio está presente somente em águas de origem subterrânea. Reage instantaneamente com o cloro, precipitando enxofre:



ou, se a oxidação for completa, dando origem à forma de sulfato:



No primeiro caso, o enxofre precipita na forma de finas partículas brancas de natureza coloidal. Este fenómeno é designado como efeito de Tyndall quando o cloro é usado para controlar a formação de  $H_2S$ . A valores de pH inferiores a 6.4 todos os sulfuretos são oxidados a sulfato; a pH 7, 30% dos sulfuretos presentes convertem-se em enxofre e a pH 9-10, este valor atinge 50%.

Nitritos: somente o cloro residual livre reage com os nitritos presentes numa água, oxidando-os a nitratos:



Existem ainda outro tipo de reacções desenvolvidas pelo cloro, resultando daí também o seu decaimento. A interacção com matéria orgânica, de onde resultam os designados subprodutos da desinfecção, será abordada mais à frente, por motivos que se prendem com a sua especificidade e importância para a saúde pública”.

### 2.2.2 – DECAIMENTO DO CLORO DEVIDO À INTERACÇÃO SUPERFICIAL

Os sistemas de abastecimento são infra-estruturas físicas constituídas por órgãos como os reservatórios, as tubagens e acessórios onde se incluem as válvulas. De menor relevância em termos de área interior de contacto com a água estão equipamentos como as bombas e medidores de caudal.

As superfícies que contactam com a água não são inertes, e reagem, em maior ou menor extensão, com as substâncias que esta transporta. Tais interacções são desenvolvidas em primeira instância pelo material dos órgãos hidráulicos. Contudo, após alguns anos de serviço desenvolvem-se películas orgânicas aderentes à superfície, e que vêm habitualmente alterar o rácio de consumo de cloro residual, aumentando-o ou diminuindo-o, conforme o material. Veja-se a figura seguinte.

Serve isto de alerta para a previsível alteração das condições de consumo de cloro no SD ao longo do seu período de exploração.

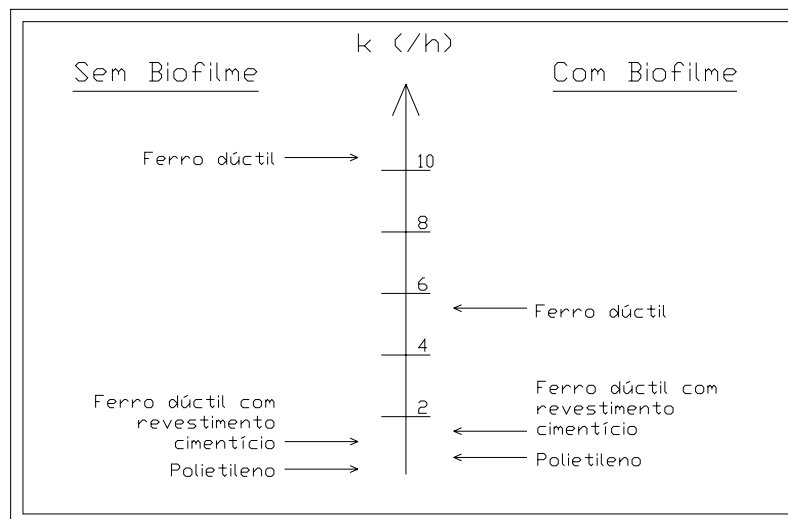


Figura 2.2 – Comparação das constantes cinéticas de decaimento do cloro, em tubos com e sem Biofilme

Fonte: Vieira [1] (adaptado de Holt, 1998)

O tipo de material habitualmente aplicado nas tubagens dos SD é de natureza metálica ou de natureza sintética – plásticos. Existem também materiais compostos, como as tubagens metálicas que são interiormente revestidas com uma componente cimentícia que lhe permite melhores performances hidráulicas e de comportamento químico.

Os materiais plásticos têm fraco potencial para interagir com o cloro residual. Sendo a sua propensão para desenvolver biofilmes também muito baixa, pode dizer-se que este material será óptimo sob o ponto de vista da minimização do decaimento do cloro residual ao longo do período de exploração do sistema.

Por seu turno, os materiais metálicos não oferecem tais qualidades. A corrosão da superfície metálica pelo cloro é muito maior do que a dos materiais plásticos. Este tipo de tubagem desenvolve mais facilmente o designado biofilme, que vem limitar a extensão da superfície de contacto com a água, diminuindo neste caso o rácio de consumo de cloro, mas ficando ainda assim aquém do referente ao material plástico também com biofilme.

Seria de supor que sob condições hidráulicas idênticas, do desenvolvimento de biofilme na superfície de ambos os materiais resultaria uma igualdade no rácio de consumo de cloro residual. Contudo não é o que demonstra Holt, citado em Vieira [1], o que faz conjecturar acerca de eventuais diferenças na natureza dos biofilmes desenvolvidos num e noutro caso.

Estes investigadores efectuaram estudos que lhes permitiram estabelecer a capacidade de consumo de cloro de vários materiais; obtiveram a mesma ordenação quer se trate de material recente ou ao serviço há já algum tempo, mas sempre ainda na ausência de biofilme. Veja-se o seguinte:

- 1º - Ferro fundido dúctil;
- 2º - Ferro fundido dúctil com revestimento interno betuminoso;
- 3º - Ferro fundido dúctil com revestimento interno cimentício;
- 4º - Ferro fundido dúctil com revestimento interno epoxy;
- 5º - PVC;
- 6º - Polietileno.

Sem dúvida que os materiais metálicos desenvolvem maior propensão para reagir com o cloro residual, impondo uma taxa de consumo significativa, comparativamente. Esta é, de acordo com Vieira [1], cerca de 20 a 130 vezes maior neste tipo de material do que para plásticos como o PVC e o epoxy, e sendo ainda superior esta discrepância quando comparado com o polietileno, consumindo 1400 a 34000 vezes menos que os materiais metálicos.

O esquema anterior evidencia que com a formação de biofilme, ocorre:

- Nos materiais metálicos uma diminuição significativa do consumo de cloro residual;
- Nos materiais metálicos revestidos uma variação quase nula;
- No polietileno um ligeiro aumento do rácio de consumo de cloro residual.

Ainda assim deve recordar-se uma constatação anteriormente já referida, e que é a de que após a plena formação de biofilme nas superfícies das várias tubagens, o consumo de cloro não converge para um valor idêntico, sendo então verosímil afirmar que é relevante o tipo de material onde aquele se fixa.

Material sintético		Material metálico	
Água	26%	Água	11%
Biofilme	16%	Biofilme	7%
Depósitos	56%	Depósitos	25%
Material	2%	Material	57%

Tabela 2.2 – Contribuição relativa das diversas componentes de consumo de cloro

Fonte: Kiéné [8] (adaptado)

Outros investigadores como Kiéné referidos em “*Chlorine demand of biofilms in water distribution systems*” [8] obtiveram conclusões que corroboram as anteriores. Desta vez a análise efectuada recaiu sobre o peso relativo dos vários factores que determinam o consumo do cloro residual ao longo do SD – ver figura anterior.

São evidências notórias que no caso de materiais plásticos:

- O grosso do consumo de cloro residual é determinado por acumulações de material depositado;
- A influência da superfície plástica é mínima;
- O somatório do consumo referente à superfície interior, isto é, o consumo devido ao biofilme e ao material plástico, é inferior quer ao determinado pelo depósito existente quer ao determinado no seio do meio aquoso.

Quanto aos materiais metálicos, constata-se que:

- A parede interior é a responsável pela maioria do consumo de cloro residual;
- Os depósitos acumulados são responsáveis por uma considerável porção desse consumo;
- A componente referente ao biofilme é a menos significativa;
- O consumo no seio do meio aquoso, comparativamente com o restante, não é muito relevante.

O autor desconhece em absoluto quaisquer pormenores acerca dos SD's analisados por estes investigadores, mas sabendo que se tratam de sistemas reais é tentado a observar o seguinte:

Para ambos os materiais (plásticos e metálicos) a relação entre o consumo de cloro residual determinado pelos depósitos acumulados e pelo determinado no seio do meio aquoso é idêntica,

$$26\%/56\% = 11\%/25\% = 0.45$$

o que permite inferir de que as características físicas dos SD's analisados terão sido relativamente semelhantes - comprimento e diâmetros das tubagens. Assim sendo, e na suposição de que a quantidade absoluta de depósitos acumulados será num e noutro caso também muito idêntica, os dados apresentados subscrevem as conclusões de Holt. No caso de materiais metálicos, a maior propensão para interagir com o cloro residual vêm diluir o peso relativo do consumo determinado pelo meio aquoso e pelos depósitos acumulados, o que já não acontece com os materiais plásticos, onde têm muito maior relevância.

Este consumo superficial de cloro residual é função da razão entre a área e o volume da tubagem, que depende unicamente do seu diâmetro. São também aspectos determinantes as condições hidráulicas, nomeadamente a turbulência, velocidade e idade da água e da tubagem.

Houve portanto já oportunidade para compreender que a corrosão e a colonização do interior da tubagem são componentes relevantes do consumo de cloro residual associado à interacção superficial. Serão posteriormente abordadas com maior detalhe.

#### 2.2.2.1 – INTERACÇÃO ENTRE A ÁGUA E O MATERIAL DA TUBAGEM

Quando expostos à água de consumo, que contém oxidantes como cloro e oxigénio, o material metálico sofre um processo de corrosão cuja intensidade será função, de acordo com Vieira [1]:

- Do pH;
- Da temperatura;
- Do teor em cloretos;
- Da presença de biofilme;
- Do equilíbrio calco-carbónico.

Este processo de corrosão é basicamente determinado pela oxidação do ferro, que compreende duas fases. Inicialmente o ferro é transferido sob a forma oxidada  $\text{Fe}^{2+}$  para o seio do meio aquoso. Posteriormente este é ainda oxidado pelo cloro, resultando no ião  $\text{Fe}^{3+}$ . Não é pois



claro se da primeira fase resulta também um consumo de cloro residual, como esclarece Vieira [1].

#### 2.2.2.2 – INTERACÇÃO ENTRE A ÁGUA E O BIOFILME

Para se ter noção, a espessura das películas de biofilme que habitualmente podem ser encontradas na superfície das tubagens dos SD's, não excede as centenas de micrómetros. É pois uma camada muito fina cujo processo de formação e desenvolvimento contempla várias etapas. Primeiro ocorre a adsorção de compostos orgânicos em suspensão no meio aquoso à superfície interna da tubagem, onde se forma então uma película de nutrientes. Estão assim criadas condições para a fixação e desenvolvimento de colónias de bactérias, atraídas pela abundância de nutrientes. Decorre da actividade metabólica destes microrganismos a libertação para a envolvente de uma camada de polímeros que se designa por *glycocalix* ou *extracellular polymeric substances*, e que vem por um lado conferir protecção à colónia bacteriológica e por outro aumentar a performance de captação de novos nutrientes que a alimentem.

O desenvolvimento e engrossamento do biofilme impede a chegada de novos nutrientes às bactérias interiores. Sucede então a sua morte e consequente perda de aderência, de onde resulta a libertação (geralmente parcial) da película de biofilme para o seio do meio aquoso, influenciada em maior ou menor profundidade pelas condições hidráulicas do escoamento – velocidade elevada, turbulência, variações bruscas de velocidade...

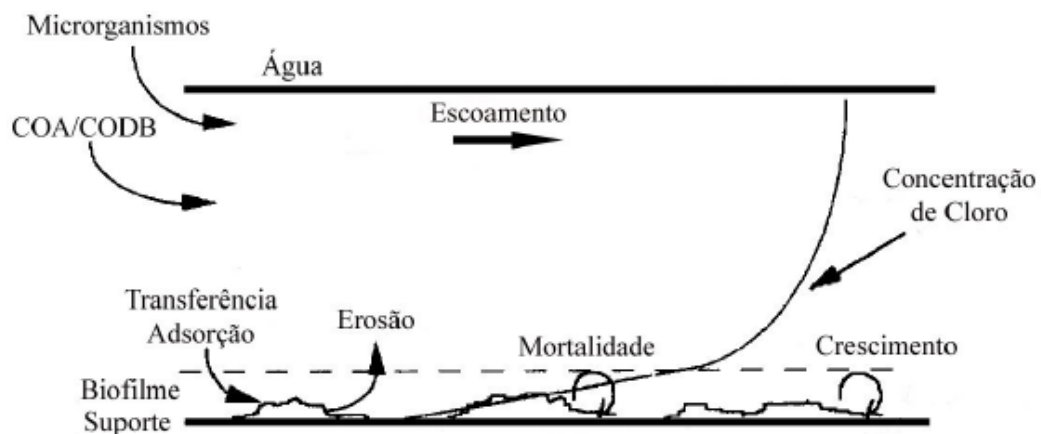


Figura 2.3 – Esquema da formação de biofilme

Fonte: Beleza [2] (adaptado de Sibille, 1998)

A película de biofilme é geralmente heterogénea e descontínua, distribuindo-se diferentes espécies bacteriológicas conforme a sua profundidade. Espécies aeróbias têm preferência pela zona exterior mais chegada ao meio aquoso “rico” em oxigénio; enquanto que o interior dá lugar ao desenvolvimento de bactérias anaeróbias

A superfície da tubagem representa assim um autêntico ecossistema vivo, onde se estabelece um equilíbrio dinâmico de formação, desenvolvimento, morte e arranque de biofilme, e que estando directamente relacionado com a existência de compostos orgânicos nutritivos, resulta pois da acção, ou melhor, da inacção do cloro residual na oxidação destes. Este é então consumido à passagem da água pelos biofilmes, sendo agora determinantes não apenas os nutrientes já existentes mas também a colónia de bactérias que se desenvolveu, bem como a matriz orgânica que a acomoda.

Deve ser também expressa a convicção de alguns investigadores, de que no caso de tubagens plásticas é libertada para o meio aquoso, uma quantidade de matéria orgânica nutritiva para as bactérias, resultante directamente da acção do cloro residual sobre o material plástico – lixiviação do plástico. Esta matéria orgânica é designada por carbono orgânico admissível.

O tipo de material e respectiva idade representam dois dos factores mais determinantes na capacidade de fixação de biofilmes que as tubagens oferecem.

A maior tendência que as tubagens metálicas têm para a fixação de biofilmes resulta da sua maior rugosidade. Nas superfícies menos rugosas, como as plásticas, esta tendência ainda que muito menor inicialmente, é progressivamente aumentada com o envelhecimento do material, mas não chegando a atingir a propensão que os metais adquirem depois de corroídos.

Em função da rugosidade apresentada a propensão para a formação de biofilme pode, de acordo com Walker (em Vieira [1]), ser hierarquizada por ordem decrescente da seguinte maneira:

- 1º - Ferro;
- 2º - Ferro galvanizado;
- 3º - Polietileno de média densidade;
- 4º - Polietileno de alta densidade;
- 5º - Vidro.

Um estudo de Van der Kooij e Van Lieverloo (em Beleza [2]), incidindo apenas sobre materiais plásticos, permitiu estabelecer o seguinte quanto ao potencial para a formação de biofilme que materiais deste tipo apresentam:

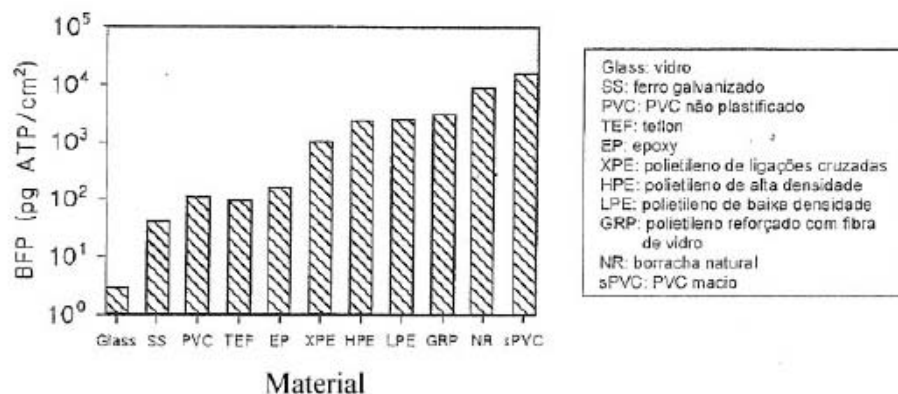


Figura 2.4 – Potencial de formação de biofilme de alguns materiais sintéticos

Fonte: Beleza [2] (adaptado de Van der Kooij e Van Lieverloo, 1998)

Este potencial é favorecido pelo aumento da temperatura, quer nas tubagens de material plástico quer nas metálicas, já que normalmente actua como “catalisador”. Neste caso acelera as reacções de corrosão e lixiviação das superfícies metálicas e plásticas respectivamente, favorecendo também a aderência de nutrientes. Como se percebe, por um lado, o aumento da temperatura e o consequente desenvolvimento do biofilme incrementa o consumo de cloro residual. Por outro lado, ao aumento de temperatura está normalmente associado o aumento do caudal do SD, função das necessidades acrescidas para rega, banhos e piscinas na estação quente. Com isto a velocidade da água também aumenta, promovendo o arranque do biofilme, e diminuindo consequente o consumo de cloro. Por outro lado, também se minimiza a estagnação da água o que já cria sentimentos ambíguos. A renovação da água aduzida restabelece os níveis de cloro, mas também os de nutrientes...

Fenómenos idênticos ocorrem em função das condições hidráulicas da rede. Rupturas, situações de incêndio, alterações bruscas do consumo, resultam em variações de velocidade e na existência de regimes turbulentos que favorecem o arranque da película microbiológica.

A existência de nutrientes é, como se pode constatar anteriormente, essencial para o desenvolvimento de biofilmes.

Os principais compostos são o carbono orgânico, o azoto e o fósforo.

O carbono orgânico presente na água tem origem natural, sendo proveniente de vegetação, e essencialmente composto por ácidos húmicos e fúlvicos, por hidratos de carbono poliméricos, proteínas e ácidos carboxílicos [2].

As bactérias heterotróficas e os coliformes existentes nos biofilmes necessitam destes compostos para o seu metabolismo, aproximadamente numa relação Carbono:Azoto:Fósforo de 100:10:1 respectivamente, impondo desta forma o carbono como o agente limitante habitual. A corroborar este aspecto está um dado importante referido por Kiéné, Lu e Lévi [8]. Existe de facto uma razoável correlação entre a quantidade de carbono orgânico assimilável presente na água e o número de bactérias do biofilme que dele se alimentam.

Já o fósforo, o composto menos exigido ao metabolismo destes microrganismos, não é, regra geral assumido como agente limitante.

### **2.3 - FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO AO LONGO DO SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**

A desinfecção constitui uma etapa fundamental do processo de tratamento de água, assegurando que a água afluenta à torneira do consumidor não possui microrganismos patogénicos. Essa desinfecção pode ser promovida por vários desinfectantes, sendo que o mais utilizado nos países desenvolvidos é o cloro que, adicionado à entrada da água no SD e posteriormente em estações de recloração (se tal for necessário) serve de garante à neutralização dos referidos microrganismos.

Entendem-se por subprodutos da desinfecção (SPD) as substâncias que resultam da reacção entre os desinfectantes e as partículas orgânicas e inorgânicas que existam na água transportada pelo sistema de distribuição, podendo os SPD ser igualmente de natureza orgânica e inorgânica. Mesmo no âmbito da ozonização, são também designados por SPD as substâncias daí resultantes, apesar de efectivamente se tratar de um processo de oxidação. Entre elas encontram-se SPD orgânicos como cetoácidos, aldeídos, ácidos carboxílicos.

Sinteticamente, os SPD podem ser ordenados da seguinte forma:

- Compostos halogenados, onde se incluem trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) e halocetonas entre outros, sendo principalmente resultantes da cloração;
- Subprodutos orgânicos da oxidação, como os aldeídos, cetonas, carbono orgânico assimilável (COA), e carbono orgânico biodegradável (COBD), e que estão geralmente associados com a utilização de oxidantes poderosos como o ozono, o cloro, ou processos avançados de oxidação;
- Subprodutos inorgânicos como o clorito e o clorato, associados à utilização de dióxido de cloro, e o bromato, cujo aparecimento se deve em grande medida à oxidação, tendo também sido já identificado quando o dióxido de cloro é antecipadamente exposto à luz solar.

Alguns SPD são potencialmente perigosos para a saúde humana, sendo os mais preocupantes e também mais regulados, o grupo dos trihalometanos (THM), dos ácidos haloacéticos (HAA), a clorite e o bromato. Outros SPD, não sendo tão preocupantes como estes, são também alvo de regulação legal. Refiram-se as halopropanonas, haloacetónitros, hidrato de tricloroacetaldeído e tricloronitrometano.

No âmbito deste trabalho a atenção vai recair apenas sobre o grupo dos trihalometanos.

O clorofórmio foi o primeiro THM a ser identificado em sistemas de distribuição de água, nos Estados Unidos. Esta substância é também designada por triclorometano.

Nomes e acrónimos dos trihalometanos:			
Nome	Nome comum	Fórmula química	Acrónimo
Triclorometano	Clorofórmio	$\text{CHCl}_3$	TCM; CF
Bromodiclorometano	-	$\text{CHBrCl}_2$	BDCM
Clorodibromometano	-	$\text{CHBr}_2\text{Cl}$	CDBM
Tribromometano	Bromofórmio	$\text{CHBr}_3$	TBM; BF

Tabela 2.3 – Nomes e acrónimos de trihalometanos

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water [9]

A molécula de metano é composta por um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogénio:

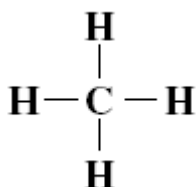


Figura 2.5 – Esquema estrutural da molécula de metano

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water [9]

Os trihalometanos designam as substâncias com estrutura idêntica, mas que vêm três átomos de hidrogénio serem substituídos por halogéneos:

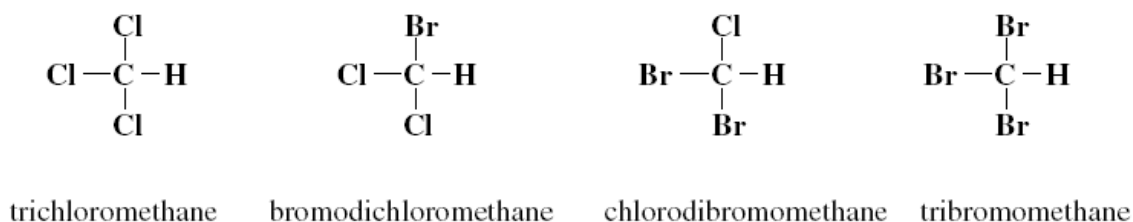


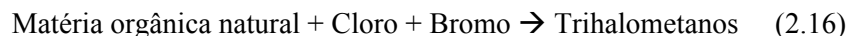
Figura 2.6 – Esquema estrutural das moléculas de trihalometanos

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water [9]

Na tabela periódica, logo depois do hidrogénio, os elementos químicos que se inserem no grupo dos halogéneos são o cloro, o bromo e o iodo.

No entanto, apesar de os THM serem apresentados como formas cloradas e bromadas do metano, a sua formação não resulta da reacção entre eles. Acredita-se que o fenómeno responsável pelo aparecimento de THM na água para consumo se deve a reacções bastante complexas que ocorrem entre matéria orgânica natural (MON) presente na água e halogéneos

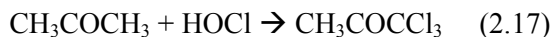
como o cloro e o bromo. O cloro é adicionado propositadamente como desinfectante, e o bromo é muitas vezes um elemento presente na água bruta captada, e que não sendo totalmente retido na ETA, segue pelo sistema de distribuição.



Apesar de raras, formas iodadas de THM foram já identificadas em SD com água clorada.

A matéria orgânica natural presente na água dos SD diz respeito, sobretudo, a substâncias húmicas e fúlvicas – cerca de 50% a 90% – cuja estrutura molecular não é ainda bem conhecida. Por este motivo, o processo de formação dos THM é também ainda pouco conhecido. Assim, compostos orgânicos simples, como a acetona (propanona), benzeno e resorcinol, são habitualmente encarados como boas alternativas para ilustrar o mecanismo de formação de THM.

Quando presente em águas cloradas, a acetona é rapidamente oxidada formando tricloropropanona



que por sua vez sofre uma reacção de hidrólise, dando origem ao clorofórmio.



Quando na presença de bromo, podem também resultar formas bromadas de propanona, dando posteriormente origem a qualquer um dos outros THM além do clorofórmio.

Vários factores podem afectar a formação de THM. Sendo os elementos fulcrais deste processo compostos húmicos e fúlvicos, que reagem com bromo e/ou cloro, a concentração destas substâncias no seio do meio aquoso é determinante. Também o pH, a temperatura e o tempo de reacção são outros factores cruciais.

A matéria orgânica natural (MON) é também designada como matéria precursora no âmbito da formação de subprodutos da desinfecção em sistemas de abastecimento de água. Os indicadores da presença deste tipo de substância são normalmente o carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico dissolvido (COD). Em geral, ao aumento do carbono orgânico na água está associado o aumento da formação de trihalometanos. Um dos motivos é porque assim aumenta a quantidade de um tipo de elemento necessário à sua produção, sendo esta limitada pelos outros tipos de elementos – cloro e bromo. Acontece pois, que quantidades superiores de MON determinam também um incremento na dosagem de desinfectante, que a possa oxidar. Serve isto para esclarecer que uma boa forma de minimizar a presença de trihalometanos passa pela limitação, *a priori*, da quantidade de MON.

Para além dos ácidos húmicos e fúlvicos, a MON presente na água para consumo pode ainda contemplar a existência de substâncias hidrofílicas, hidrofóbicas e transfilicas, quer sob a forma ácida quer sob a forma neutra.

Em águas cloradas, o cloro representa um elemento fundamental à formação de SPD halogenados; sendo a sua concentração um factor chave desse processo. De acordo com Disinfection Byproducts in Drinking Water [9], regra geral, o aumento da dose de cloro residual incrementa a quantidade de THM. A ilustrá-lo está o gráfico seguinte, adaptado do mesmo documento, onde, em função do tempo, se relaciona a formação de THM com a dose de cloro residual adicionado à água.

Também se pode comprovar pela análise do gráfico, que o factor tempo é favorável à formação de THM, o que é perfeitamente natural. Facilmente se compreenderá que esta, como qualquer

outra reacção química, obedece a uma determinada velocidade de reacção, e como se pode observar, ela não é constante.

Acontece no entanto que em determinados casos as substâncias aqui referidas como SPD podem ainda ao fim de um período de tempo mais longo, ser transformadas em outros subprodutos, pelo que nesses casos, um grande envelhecimento da água contribuirá para o seu desaparecimento.

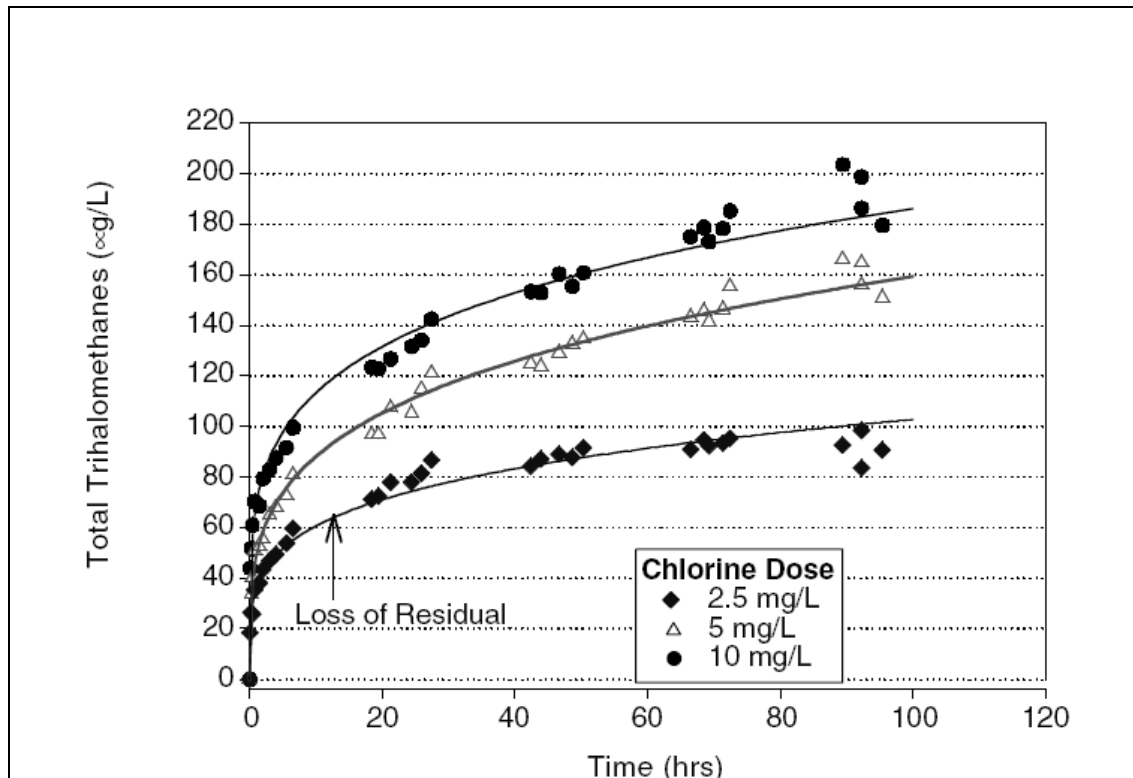


Figura 2.7 – Evolução da quantidade total de THM em função da dosagem inicial de Cloro

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water – Formation, Analysis and Control

O pH representa um factor muito influente sobre o processo de formação dos SPD. De uma forma genérica pode afirmar-se que um pH elevado beneficia a produção de THM, enquanto que o oposto favorece a formação de ácidos haloacéticos (HAA).

Um exemplo esclarecedor do efeito do pH pode uma vez mais ser ilustrado a partir da propanona. A hidrólise da pentacloropropanona resulta na formação de ácido dicloroacético, um dos HAA. Sob um pH elevado a hidrólise da tricloropropanona reduz significativamente a formação de pentacloropropanona, e consequentemente, a de ácido dicloroacético, dando lugar então à predominância de THM. Sucede o inverso quando os níveis de pH são mais reduzidos.

O efeito do bromo na formação de THM é mais acentuado do que o do cloro residual, devido à sua maior aptidão para reagir com a MON. O bromo não reage directamente com esta; num conjunto de reacções intermédias ele é oxidado pelo cloro, dando origem a hipobromite ou a ácido hipobromico, dependendo do pH. À semelhança da hipoclorite e do ácido hipocloroso, também os compostos bromados reagem com a MON, produzindo SPD da mesma natureza. Esta substituição do cloro pelo bromo resulta pois na redução da formação de SPD clorados.

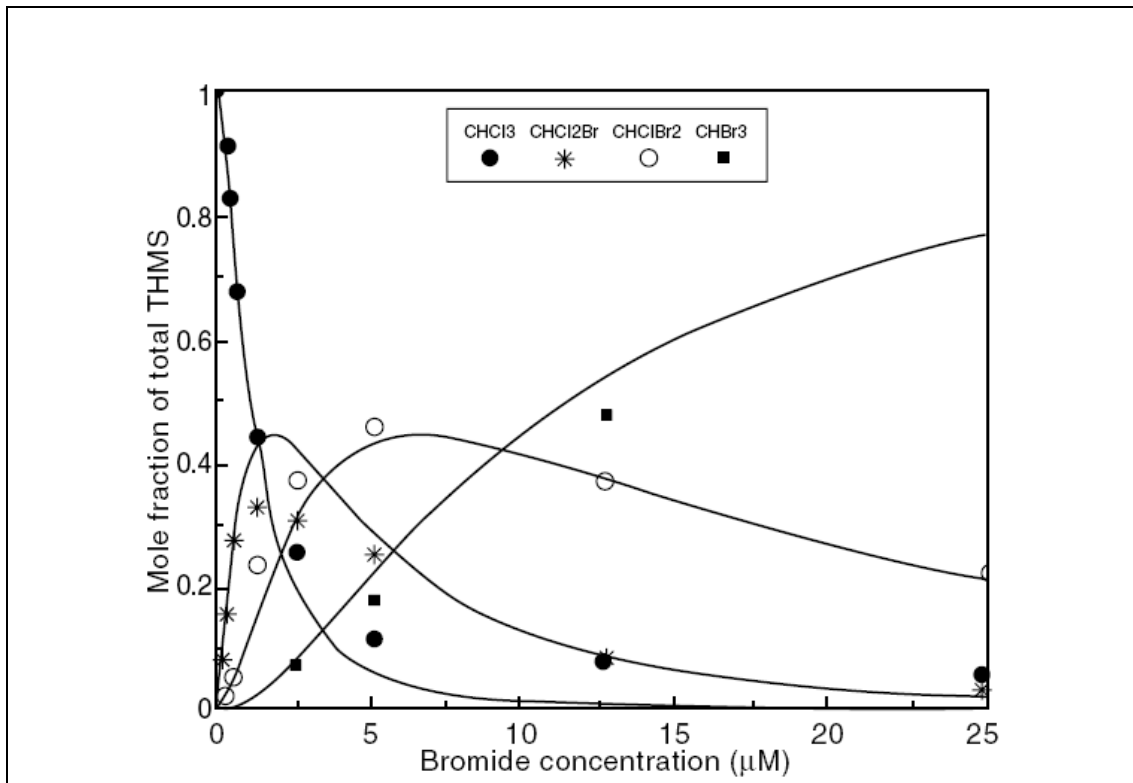


Figura 2.8 – Fracção de THM's em função da concentração inicial de Bromo

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water – Formation, Analysis and Control

A figura anterior ilustra a fracção de cada um dos THM em função da concentração de bromo presente na água. Demonstra claramente o referido efeito de substituição do cloro pelo bromo. Veja-se a evolução do clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) que sofre um abrupta diminuição do seu contributo no total de THM. No sentido oposto, o bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) tem uma evolução marcadamente ascendente com o aumento da concentração de bromo.

## 2.4 - O EFEITO DO TRATAMENTO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

No seu conjunto as várias etapas do processo de tratamento de água na ETA condicionam a presença de SPD nos locais de consumo.

A pré-oxidação é uma etapa do processo de tratamento historicamente associada ao controlo de sabor, cor e odor, bem como à oxidação de ferro e manganês, numa fase inicial do processo global do tratamento na ETA. Pode ser promovida pela adição de cloro, ozono, ou outro oxidante. Fruto dos elevados níveis de matéria orgânica natural presente na água bruta captada, o cloro, quando eleito para esta fase do tratamento, reage com avultadas quantidades de MON, formando SPD em proporção. A figura seguinte ilustra as diferenças encontradas no nível de THM comparando o efeito da pré-cloração com a cloração efectuada numa etapa posterior do tratamento.

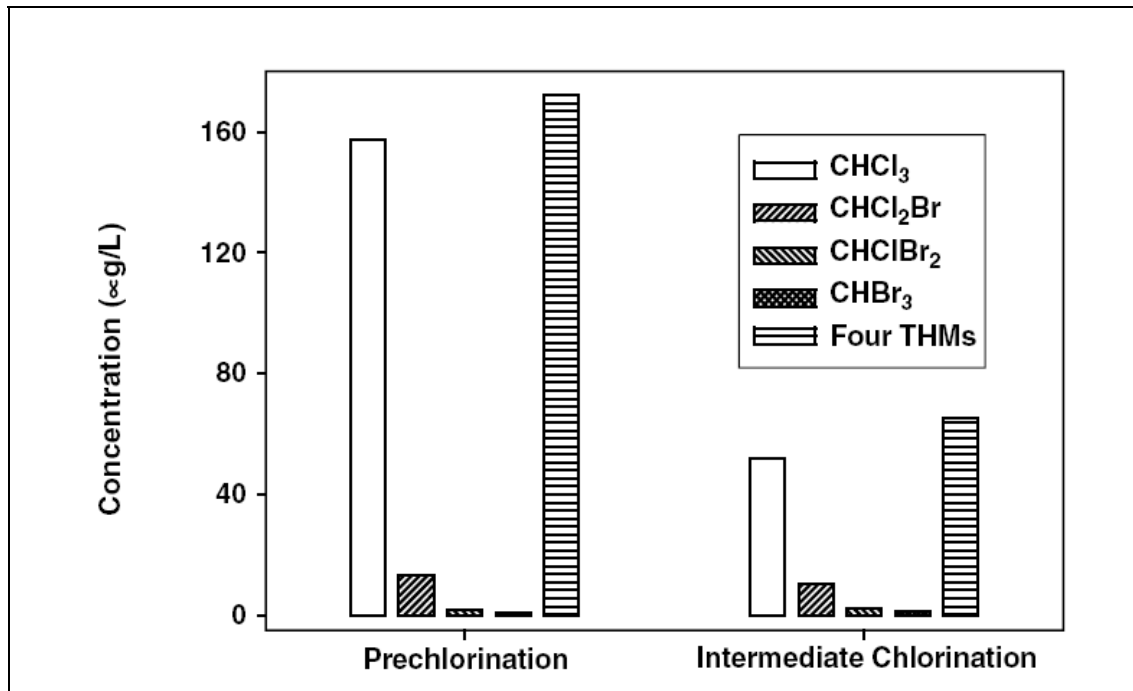


Figura 2.9 – Efeito do local de cloração em ETA, na quantidade de THM's efluentes

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water – Formation, Analysis and Control

Os resultados são bastante esclarecedores, evidenciando uma clara diminuição do nível total de THM quando a cloração é efectuada numa etapa intermédia do tratamento, o que faz sentido tendo em consideração que nessa fase posterior, muita da quantidade de MON tenha já sido removida.

Já a pré-ozonização pode otimizar outras etapas posteriores do tratamento, como a coagulação, sedimentação e filtração, beneficiando a redução da quantidade de THM na água tratada, na medida em que a eficaz remoção dos seus precursores não exige uma dosagem acrescida de cloro residual à entrada no SD.

A coagulação pretende exercer uma acção agregadora sobre as partículas, criando flocos que precipitam depois de ganharem suficiente dimensão, ou de outra forma, que possam ser removidos por filtração.



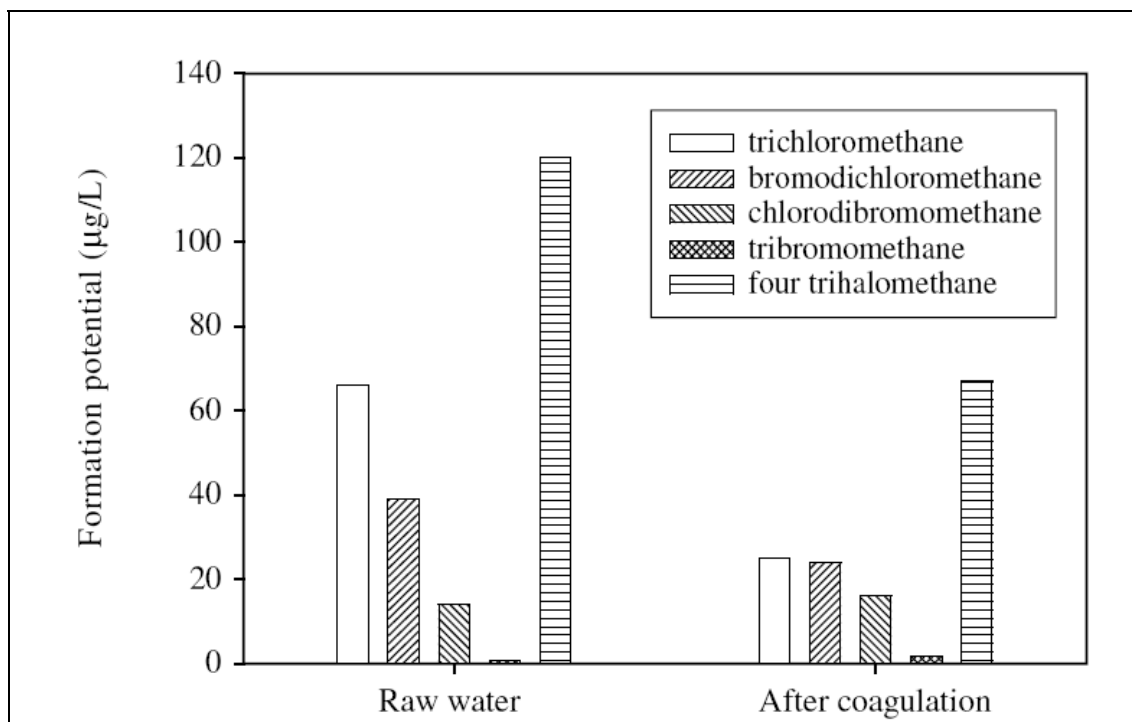


Figura 2.10 – Efeito da coagulação na quantidade de THM's efluentes

Fonte: Disinfection Byproducts in Drinking Water – Formation, Analysis and Control

Este processo ajuda à diminuição da quantidade de THM na água tratada, na medida em que permite agregar substancialmente a MON potenciando a capacidade de remoção em etapas como a filtração e sedimentação. Uma quantidade inferior de MON diminui a necessidade de adição de cloro residual e o consequente potencial de formação de THM.

O carvão activado exerce um poder de adsorção sobre as partículas existentes no meio aquoso. É habitualmente usado no sentido de remover herbicidas, pesticidas, compostos orgânicos naturais ou sintéticos, eliminando cor, odor e sabor. Não é um método que permita assegurar satisfatoriamente a eliminação de microrganismos patogénicos. Já na remoção de substâncias precursoras dos SPD, nomeadamente a MON, é bastante eficaz, possibilitando diminuir assim a futura necessidade de uma dosagem acrescida de cloro residual. Este tipo de tratamento figura mesmo como uma das “melhores tecnologias disponíveis”, na remoção de MON e controlo dos SPD, aprovadas pelas autoridades norte-americanas. Contudo não é tão eficaz na remoção de THM que eventualmente tenham já sido formados, por exemplo, na pré-oxidação, o que subscreve os dados anteriormente avançados relativamente ao local de adição de cloro na ETA: pré-cloração e cloração em fase posterior. – Ver figura 2.9

Nos últimos anos o recurso à filtração por membranas tem aumentado significativamente. Entre esta tecnologia incluem-se a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose inversa.

A micro-filtração é eficaz na remoção de microrganismos e determinados tipo de MON. Tira partido de membranas relativamente comuns, e que devido ao tamanho dos seus poros permitem a passagem de muitos compostos orgânicos e inorgânicos. A nano-filtração, utilizando membranas com uma malha muito mais apertada, permite uma grande eficácia na remoção desses compostos, nomeadamente, das substâncias precursoras à formação dos SPD. A ultra-filtração é uma tecnologia, que pelas características das respectivas membranas, se situa numa posição intermédia entre a micro e a nano-filtração.

A osmose inversa é o mais eficaz processo deste género. Assegura uma elevada performance na remoção de matéria orgânica natural e matéria inorgânica, limitando em grande medida a

existência de precursores de SPD. No entanto exige maior dispêndio de energia, avultados investimentos iniciais e custos de operação. Por estes motivos apenas se utiliza em situações extremas, como a dessalinização da água do mar, em regiões costeiras com falta água doce.

# 3

## O problema da saúde pública



As preocupações com o efeito que a água aduzida poderá exercer nos consumidores dizem respeito aos microrganismos patogénicos, aos desinfetantes residuais e aos subprodutos dessa desinfecção.

Estas três variáveis estão intimamente relacionadas. Após a entrada no sistema de distribuição de água, a tendência natural é para que os microrganismos existentes se venham a multiplicar. Por este motivo se acrescenta um desinfetante residual, que neutralize esse desenvolvimento. Acontece pois que o poder desinfetante da substância residual exerce também efeito noutros seres vivos que contactem com aquela água, nomeadamente o ser humano. Mais ainda, do processo de desinfecção resultam substâncias designadas por subprodutos da desinfecção, que em larga medida são motivo de preocupação para a saúde pública dos consumidores.

### 3.1 - MICRORGANISMOS PATOGENICOS

São frequentes situações de calamidade em que através do sistema público de abastecimento de água se disseminem microrganismos patogénicos capazes de gerar surtos de epidemias generalizadas. Contudo, este tipo de situações tem acontecido esporadicamente, mesmo nos países mais desenvolvidos. Nestes casos podem mesmo provocar a morte de seres humanos, especialmente dos grupos mais vulneráveis como idosos, crianças e adoentados. Já um adulto saudável, se tratado em conformidade, tem condições para poder sobreviver à maioria dessas situações.

O deficiente funcionamento dos sistemas de abastecimento de água, quer na ETA ou no SD, permite a propagação de vários microrganismos até ao consumidor. Sem querer aprofundar o assunto, apresentam-se na tabela seguinte alguns dados referentes às doenças mais comuns ou preocupantes.

Doença	Microrganismo causador	Origem do microrganismo	Sintomas
Gastroenterite	<i>Rotavirus</i> <i>Salmonella</i>  <i>E. coli</i>	Fezes humanas Fezes animais e humanas Fezes humanas	Diarreia aguda e vômitos
Febre tifóide	<i>Salmonella typhosa</i>	Fezes humanas	Febre; inflamação intestinal; dilatação do baço
Disenteria	<i>Shigella</i>	Fezes humanas	Diarreia;
Cólera	<i>Vibrio comma</i>	Fezes humanas	Vômitos; rápida desidratação; diarreia severa; fuga de minerais - mortal
Hepatite infecciosa	Hepatite A	Fezes humanas; germinação de moluscos	Palidez; dilatação do fígado; dor abdominal
Disenteria amoébia	<i>Entamoeba histolytica</i>	Fezes animais e humanas	Disenteria crónica; Diarreia
Giardice	<i>Giardia lamblia</i>	Fezes animais e humanas	Diarreia; náuseas; fraqueza; câibras

Criptosporidíase	<i>Cryptosporidium</i>	Fezes animais e humanas	Diarreia; dor de estômago
------------------	------------------------	-------------------------	---------------------------

Tabela 3.1 – Algumas doenças propagadas através de sistemas de distribuição

Fonte: Environmental Compliance Handbook

Entre as décadas de 1960 e 1980 (sensivelmente) ocorreram nos Estados Unidos mais de 575 surtos de doenças propagadas pelos sistemas de abastecimento de água, envolvendo 153 milhares de pessoas infectadas, e provocando a morte a 23 delas. Na primeira metade da década de 1980, foi de 351 o número destes casos. Em 1989 a EPA estimava que por ano ocorriam cerca de 89000 casos deste género naquele país. Em 1994, o Conselho de Defesa dos Recursos Naturais norte-americano, afirmava que 1/5 da água distribuída em sistemas públicos era imprópria para o consumo humano. [16]

O microrganismo responsável pelo primeiro caso comprovado de epidemia disseminada através do sistema de abastecimento de água nos E.U. foi a *E. coli*, nos anos 60 do século passado.

De acordo com a *United States Environmental Protection Agency*, a *Giardia lamblia* tem sido o microrganismo mais vezes identificado na água distribuída em sistemas de abastecimento norte-americanos. Mais de 20000 casos de doença associados a este microrganismo foram registados entre 1967 e 1987 naquele país.

O *Cryptosporidium* é um protozoário semelhante à *Giardia*. É da sua responsabilidade o maior caso de epidemia ocorrido nos Estados Unidos. Afectou 403000 pessoas, das quais 4400 foram hospitalizadas, vindo a morrer uma centena delas. As autoridades sanitárias conseguiram apurar que este surto se ficou a dever a uma combinação da degradação da água bruta captada e de deficiências ocorridas nos processos de coagulação e filtração, provocando um aumento da turvação da água que permitiu a progressão deste microrganismo.

A legislação norte-americana tem sofrido várias alterações ao longo das últimas décadas. Foi com o “*Safe Drinking Water Act*” de 1976, e com as emendas que sofreu passados 10 e 20 anos, que se deram importantes passos na regulação do mercado de produção e distribuição de água. O âmbito destas regulamentações é bastante vasto, abrangendo as várias etapas do processo de tratamento em ETA, o processo de distribuição no SD, a origem da água captada, e muito mais. A emenda de 1986 veio impor limites máximos à quantidade/concentração de várias substâncias, entre as quais:

- compostos inorgânicos;
- compostos orgânicos sintéticos;
- compostos orgânicos voláteis;
- radioisótopos;
- turvação;
- e organismos microbiológicos.

No sentido de regular as substâncias anteriores, estabeleceu parâmetros como o:

- Maximum Contaminant Level (MCL) – Valor máximo admissível;
- Maximum Contaminant Level Goal (MCLG) – Valor máximo recomendado;
- Maximum Disinfectant Level (MDL) – Valor máximo admissível;
- Maximum Disinfectant Level Goal (MDLG) – Valor máximo recomendado;
- Treatment technique (TT).

O MCLG estabelece com alguma margem o limite máximo de determinado contaminante para o qual não se conhecem ou prevêem efeitos adversos no ser humano – crianças, idosos e adoentados. Este não é um parâmetro de cumprimento obrigatório para as *utilities*. Como este nível tem em consideração apenas a capacidade do ser humano, e não as performances das tecnologias de tratamento disponíveis e mesmo os limites dos processos de análise da água, muitas vezes as *utilities* não o conseguem alcançar.

O MCL impõe, para os vários contaminantes, o limite máximo admissível na água. Este nível pretende ser o mais aproximado possível do primeiro; o seu valor já tem em consideração o alcance (ou as limitações) das tecnologias existentes e os custos associados.

Os outros dois parâmetros são da mesma natureza destes já referidos, mas dizendo respeito aos desinfectantes, incluindo também os seus subprodutos.

Sempre que para cumprir com as limitações estabelecidas pelos MCL e MDL não exista um método suficientemente fiável e económico para a medição de concentrações particularmente baixas, impõe-se a execução de uma “técnica de tratamento”. Este é pois um procedimento obrigatório ou nível mínimo de performance imposto que as utilities devem cumprir no sentido de controlar os níveis de contaminantes, desinfectantes ou seus subprodutos.

Na tabela seguinte estabelecem-se os critérios para alguns dos microrganismos já referidos.

Microrganismos	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)
<i>Cryptosporidium</i>	0	TT a 99%
<i>Giardia lamblia</i>	0	TT a 99,9%
Contagem heterotrófica	n/a	500/ml
<i>Legionella pneumophila</i>	0	Sem limite*
Total de coliformes (incluindo fecais e <i>E.coli</i> )	0	5%
Vírus	0	TT a 99,99%

Tabela 3.2 – Limites à concentração de microrganismos de acordo com SDWA

Fonte: Handbook of water and wastewater treatment Technologies. Capítulo I

\* Acredita a EPA que quando os vírus e a *Giardia lamblia* são removidos/inactivados aos níveis referidos, também a *Legionella* será controlada.

De referir que a EPA exige a implementação de alguma técnica ou processo (TT) capaz de garantir níveis de remoção ou neutralização de 99% para o *Cryptosporidium*, de 99,9% para a *Giardia lamblia*, e de 99,99% para os vírus. Esta entidade acredita que a remoção de vírus e da *Giardia lamblia* é suficiente para controlar também a *Legionella*.

### 3.2 - DESINFECTANTES RESIDUAIS

Um documento da autoria da Organização Mundial de Saúde, publicado no ano 2000, faz um relatório muito pormenorizado sobre os efeitos e riscos associados à presença de desinfectantes e SPD na água para consumo [WHO - *Environmental Health Criteria*]. Foi nesse trabalho que se puderam obter os factos que a seguir se expõem.

O cloro é de longe o desinfectante residual mais utilizado. Apesar de ser um agente muito tóxico, a sua presença na água para consumo humano é habitual, em concentrações controladas. Quando ingerido, vai reagir com substâncias presentes no estômago e na saliva, resultando na formação de subprodutos dentro já do próprio organismo humano.

O cloro gasoso é desde há muito reconhecido como um potente irritante do sistema respiratório. Reportam à I Guerra Mundial os efeitos que pode exercer no ser humano. Foi utilizado como gás venenoso na frente de batalha. No entanto estudos daquela época não confirmaram a existência de danos permanentes. Puderam apurar que, aparentemente, o cloro gasoso surte efeito – edemas pulmonares e bronquite aguda – apenas durante o período de exposição, não causando lesões permanentes no sistema respiratório. O período de recuperação oscila entre 1 a 4 semanas, afirmavam.

No entanto não é o que afirmam estudos bem mais recentes. Foram detectadas dificuldades respiratórias permanentes associadas à diminuição do volume dos pulmões em pessoas expostas ao cloro gasoso em recinto fechado; identificou-se também o surgimento recorrente de asma. Ao nível doméstico, não é expectável que ocorra uma significativa volatilização de cloro capaz de provocar esses efeitos, nomeadamente durante os banhos de água quente. Já o mesmo não se pode dizer que ocorra nas ETA's. Em função das quantidades de cloro envolvidas existe o risco de volatilização de quantidades suficientes para colocar em perigo os trabalhadores. Por isso, poderá ser necessário tomar medidas preventivas de protecção.

Existem frequentes relatos de envenenamentos por lixívia. Muitas vezes resultam da mistura de da lixívia com ácidos ou amónia. Esta acidificação provoca a dissociação da hipoclorite em ácido hipocloroso, que sendo muito volátil é então inalado.

A mistura de lixívia com amónia resulta na formação de monocloramina e dicloramina, que são dois irritantes pulmonares.

No entanto qualquer dos efeitos da cloração da água para consumo humano imputáveis exclusivamente ao cloro, pode ser desvirtuado, na medida em que existem sempre SPD que exercem também os seus efeitos. Num estudo em que se procuraram minimizar os efeitos dos SPD, através da cloração de água destilada, chegou-se à conclusão de que não ocorrera nenhuma alteração significativa na saúde dos humanos sujeitos a estes testes.

A Agência Internacional da Investigação de Cancro considerou, em 1991, que não existiam dados suficientes para poder imputar aos hipocloritos (de sódio e de cálcio) a responsabilidade de mutações ocorridas em cobaias. Apesar de serem evidentes em células testadas *in vitro*, não se pôde afirmar o mesmo para animais vivos.

### 3.3 - SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

Como se sabe da cloração da água para consumo resultam subprodutos, dos quais os trihalometanos são os mais predominantes e talvez por isso também os mais conhecidos e estudados, com especial relevância para o clorofórmio que se destaca das restantes formas cloradas e/ou brominadas dos THM.

Muitos efeitos tóxicos têm sido associados à exposição de cobaias animais, durante curtos e longos períodos de tempo, ao conjunto dos 4 THM referidos, que se vieram mesmo a demonstrar cancerígenos para roedores de laboratório.

Os THM são líquidos voláteis à temperatura ambiente. Por este motivo surgem preocupações acrescidas relacionadas com a sua possível vaporização em banhos e lavagens com água quente. A ingestão de água clorada tem sido desde sempre a principal preocupação relativa ao efeito destas substâncias.

Vários estudos se têm debruçado sobre o potencial cancerígeno – toxicidade aguda – do clorofórmio. Alguns investigadores situaram em 30 mg/kg de massa corporal o nível de não adversidade deste THM em ratos de teste do tipo F344. Já quando elevada a 90 mg/kg, a ingestão de clorofórmio produzia danos renais. Para se conseguirem produzir lesões de natureza hepática era necessário aumentar a dosagem para 477 mg/kg. Uma dosagem de 150 mg/kg de massa corporal foi apontada como responsável pelo desenvolvimento de cancro no fígado e rins. No entanto estes dados poderão não ser assim tão fidedignos, já que a forma encontrada para obrigar as cobaias a ingerir o clorofórmio passava pela sua associação a óleos e outras substâncias alimentares, que eventualmente poderão desvirtuar o mecanismo de processamento deste THM.

Ainda em cobaias, têm sido relatados vários problemas provocados pela acção do clorofórmio a curto prazo; incluem-se a degeneração de hepatócitos centribulares, necrose de células renais e proliferação de células hepáticas. Foram também identificados problemas cardiovasculares, como arritmias e depressão do miocárdio. A inalação de clorofórmio (gasoso) produziu efeitos semelhantes.



Relativamente à gestação pôde concluir-se que para serem atingidos níveis de clorofórmio no sangue (das cobaias) capazes de contagiar o feto, teria de se sujeitar a progenitora a níveis fatais ou muito próximos destes.

Em seres humanos foi também já relatado um caso fatal por inalação de clorofórmio, possivelmente causado por arritmias ou depressão cardíaca. Está também provada a absorção cutânea de clorofórmio numa experiência que reuniu seres humanos voluntários, quer *in vivo* quer *in vitro*, a partir dos seus tecidos.

Uma vez que o clorofórmio é o mais frequente dos THM, e também porque os restantes THM induzem problemas de saúde da mesma natureza, não importa estar aqui a aprofundar muito mais os seus efeitos nos seres vivos.

### 3.4 - RESUMO

Apesar de não serem muito frequentes, os surtos epidémicos motivados pela proliferação de microrganismos patogénicos nos sistemas de abastecimento de água podem ter grande abrangência, resultando muitas vezes na morte de seres humanos.

A Organização Mundial de Saúde, consciente desses efeitos recomenda vivamente a prática da desinfecção da água para consumo. Até porque apesar da existência de vários estudos que comprovam os efeitos negativos da breve exposição a desinfetantes e subprodutos da desinfecção, ainda não há evidências que responsabilizem exclusivamente a ingestão e utilização de água para consumo por esse tipo de malefícios. A quantidade de substâncias a que cobaias e seres humanos foram expostas nesses vários estudos é substancialmente superior à que é comum encontrar-se na água produzida pelas *utilities*. Mas por outro lado a exposição à água para consumo ocorre em períodos muito maiores aos daqueles estudos.

A exposição crónica a baixas quantidades de substâncias nocivas remete para a possibilidade de desenvolvimento de problemas oncológicos. Contudo não existem suficientes evidências que permitam terminantemente imputar responsabilidades destas à água clorada (com posterior formação de THM) tendo já sido realizados inúmeros estudos no sentido de apurar o risco resultante do seu consumo. Alguns estudos puderam concluir que existe um “fraca ou moderada” relação entre o desenvolvimento de cancros – fígado, bexiga, rins – com a exposição prolongada a água clorada. Contudo recaíam sobre populações diminutas, ou comprovavam tais efeitos em homens mas não em mulheres... Parece pois que existe aqui alguma ambiguidade, que só poderá ser clarificada depois da realização de um estudo amplo e criterioso, recaindo sobre várias populações (alvo e de controlo) e avaliando as alterações produzidas, em função da quantidade de água ingerida ou com a qual se tenha contactado.

As mesmas considerações se podem fazer relativamente aos efeitos sobre a gravidez. Não existem evidências concretas sobre a responsabilidade da água para consumo em abortos ou malformação de fetos.

Resta porém a evidência que todos temos no dia-a-dia, e que aliás se iniciou há já muitas décadas, quando se começou a proceder à prática da cloração.

Em termos de risco, a OMS é peremptória em afirmar que apesar de resultarem da desinfecção subprodutos potencialmente nocivos ao ser humano, existe um risco muito mais significativo em ingerir e utilizar água que não tenha sido previamente sujeita a esse tratamento.



# 4

## **Modelação do decaimento do cloro residual e formação de THM**



No capítulo anterior foram analisados vários fenómenos que determinam o consumo do cloro residual ao longo dos sistemas de distribuição. A formação de THM está intimamente relacionada com este consumo. No entanto, os modelos matemáticos que têm sido propostos por muitos investigadores para simular a evolução da quantidade/concentração destas espécies químicas não estão directamente fundamentados naqueles ditos fenómenos. Existe muita falta de conhecimento acerca dos verdadeiros mecanismos de interacção do desinfectante residual com as substâncias presentes no seio da água e com as superfícies internas do SD – tubagem, reservatórios e acessórios – bem como da subjacente formação de subprodutos. No caso da dupla cloro residual e trihalometanos, as espécies precursoras são a matéria orgânica – sobretudo ácidos húmicos e fúlvicos – e o bromo como precursor inorgânico. Naturalmente que o decaimento do cloro residual é também determinado pela “reação de parede”.

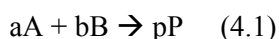
Mas antes de se avançar mais em detalhe nesta temática da modelação, e aproveitando como exemplo as substâncias químicas objecto do presente trabalho (cloro residual e THM), convém distinguir desde já dois conceitos importantes; relativamente ao cloro são eles o “modelo de decaimento do cloro” e “modelo cinético de decaimento do cloro”. Conceitos semelhantes mas referentes aos subprodutos não diriam respeito ao decaimento mas sim à formação de THM, como “modelo de formação de trihalometanos” e “modelo cinético de formação de trihalometanos”.

O modelo cinético refere-se à lei da velocidade de reação; no caso do cloro, a lei de velocidade do decaimento, e no caso dos THM, a lei de formação destas substâncias.

Já o modelo de decaimento/formação refere-se à evolução das quantidades/concentrações das espécies químicas ao longo do tempo e estendidas ao espaço do sistema de distribuição. Estes últimos modelos incorporam uma componente referente à cinética das reações, e outras que traduzam a distribuição da massa de água efluente da ETA ou de qualquer outra origem.

#### 4.1 – MODELOS CINÉTICOS

A cinética de uma reação química designa a lei que relaciona a velocidade dessa reação com a concentração dos reagentes. Se duas substâncias A e B reagirem entre si dando origem a uma outra espécie P,



a cinética será traduzida por:

$$\text{Velocidade} = k[A]^x[B]^y \quad (4.2)$$

O parâmetro k denomina-se constante cinética desta reação; os expoentes x e y representam a ordem da reação do reagente A e do reagente B, respectivamente. A sua soma, isto é x+y, representa então a ordem global da reação. Este é um modelo cinético simples, proposto por Laidler em 1987.

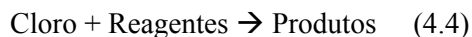
Sendo a velocidade uma taxa de variação, pode reescrever-se a equação (4.2) da seguinte forma:

$$\partial C / \partial t = k[A]^x[B]^y \quad (4.3)$$

O conhecimento científico relativamente às reações químicas que determinam o decaimento do cloro residual em SD, apesar de ter vindo a ser desenvolvido sofre ainda de importantes lacunas. Não estão identificadas todas as espécies químicas que poderão estar presentes na água efluente da ETA – é enorme o número de substâncias que virtualmente poderão estar presentes na água distribuída – e das que se conhecem falta compreender em profundidade o verdadeiro mecanismo de interacção com o cloro residual. Este tipo de informação permitiria potencialmente desenvolver com mais exactidão um modelo cinético. Mas ainda assim, a incorporação desses dados num modelo (global) de decaimento de cloro aplicado a um SD pressuporia um inimaginável trabalho de calibração, passando por identificar e analisar locais de existência de biofilmes e determinando a sua contribuição no consumo de cloro residual pelo

somatório das reacções químicas individuais que este estabeleça com todas as substâncias presentes no dito biofilme. Por todas estas dificuldades opta-se actualmente por tratar o decaimento do cloro através de um modelo cinético global, que apesar de não conhecer em particular cada um dos mecanismos individuais do seu decaimento, lhe aplica uma lei genérica onde se pretende contabilizar o efeito conjunto de todas elas.

A reacção química genérica do decaimento do cloro será então:



Uma das primeiras leis foi proposta por Hunt e Kroon em 1988, e considerava que o decaimento obedecia a uma lei exponencial simples:

$$C(t_2) = C(t_1)e^{-k(t_2-t_1)} \quad (4.5)$$

Neste caso,  $t_1$  e  $t_2$  representam os limites inferior e superior do intervalo de tempo considerado, sendo  $C$  a concentração de cloro em cada um destes instantes. O parâmetro  $k$  refere-se à constante cinética. A metodologia de aplicação deste modelo (à semelhança de muitos outros) baseia-se no seu ajuste às características particulares da água, isto é, pressupõe um trabalho prévio de calibração. O parâmetro que permite fazer esse ajuste é precisamente a constante cinética  $k$ . Para esse efeito, são recolhidas amostras de água ao longo do tempo, aferindo a concentração de cloro correspondente. Através de técnicas estatísticas de ajuste – como o método dos mínimos quadrados – pode determinar-se o valor da constante cinética que traduza com máxima verosimilhança o comportamento da reacção química.

A componente laboratorial poderá ser realizada através de “testes de garrafa” e pressupõe que sejam mantidas condições estáveis de temperatura. A água é recolhida no SD para garrafas totalmente cheias, dissipando o efeito que o ar atmosférico poderia implicar na reacção química – no sistema de distribuição a existência de bolsas de ar atmosférico é mínima e pontual.

De facto o modelo cinético apresentado corresponde ao modelo de 1ª ordem. Esta lei cinética estabelece que a velocidade de reacção de um determinado reagente é proporcional à respectiva concentração. Assim, sendo  $C$  a concentração de cloro em cada instante, e  $k$  a constante cinética da reacção, a velocidade do decaimento do cloro será traduzida por,

$$\partial C / \partial t = -k \cdot C \quad (4.6)$$

Integrando esta equação em ordem ao tempo, obtém-se a relação seguinte,

$$C(t) = C_0 e^{-k \cdot t} \quad (4.7)$$

através da qual é possível estimar a concentração de cloro em cada instante. Para tal é necessário conhecer a concentração inicial ( $C_0$ ) e a dita constante cinética ( $k$ ).

Comparando a equação (4.6) com a lei genérica apresentada em (4.3) verifica-se que apenas está contabilizada a componente referente a um reagente – o cloro. Não existe referência a mais nenhum reagente. Pelo facto de que o cloro não reage sozinho, esta lei é designada por lei de pseudo 1ª ordem. Subjacente a esta lei está a assumption de que a concentração dos restantes reagentes é praticamente invariável e muito superior à concentração de cloro inicial.

Vasconcelos, referido em VIEIRA [1], afirma que a cinética de 1ª ordem se ajusta com maior verosimilhança a reacções em que o cloro é o agente limitante. São exemplos a reacção deste com compostos orgânicos enzimáticos e produtos metabólicos resultantes do biofilme. Já a cinética de ordem zero adapta-se melhor à oxidação de espécies redutoras, como compostos de ferro produzidos na superfície metálica da tubagem.

A cinética de ordem zero,

$$\partial C / \partial t = -k \quad (4.8)$$

não depende da concentração de cloro. A velocidade de decaimento é linear; assim, a concentração de cloro em cada instante é determinada pela subtracção da porção já consumida ao longo de um período de tempo à sua concentração inicial.

Mas têm sido propostos e testados outros modelos cinéticos para o decaimento do cloro residual. De acordo com Vieira [1], Haas e Karra (1984) testaram um modelo de ordem  $n$ . Neste caso a velocidade da reacção é função da concentração de cloro elevada à potência  $n$ :

$$\partial C / \partial t = -k \cdot C^n \quad (4.9)$$

Integrando esta expressão em ordem à variável tempo, resulta o seguinte:

$$C(t) = k t^{(n-1)} + (1/C_0)(n-1)) - 1/(n-1) \quad (4.10)$$

Avaliaram ainda modelos de 1ª ordem com componente estável,

$$\partial C / \partial t = -k(C - C^*)^n \quad (4.11)$$

cujas forma integrada resulta em,

$$C(t) = C^* + (C_0 - C^*) e^{-k \cdot t} \quad (4.12)$$

e modelos de 1ª ordem com componente paralela,

$$\partial C / \partial t = -k_1 C_1 - k_2 C_2 \quad (4.13)$$

cujas forma integrada resulta em,

$$C(t) = C_0 x e^{-k_1 t} + C_0 (1-x) e^{-k_2 t} \quad (4.14)$$

O modelo de 1ª ordem com componente estável, também designado por modelo de 1ª ordem limitada, assume que existe sempre uma quantidade conservativa de cloro residual, isto é, não reage; apenas a restante quantidade  $(C_0 - C^*)$  é sujeita a decaimento.

Já o modelo de 1ª ordem paralela faz a distinção entre duas componentes de cloro residual, considerando que o decaimento se processa de acordo com duas velocidades diferentes ao longo do tempo, mas ambas de 1ª ordem. Uma primeira componente, caracterizada pela constante cinética  $k_1$  afecta à porção  $C_0 x$ , e a componente restante  $C_0 (1-x)$  caracterizada pela constante cinética  $k_2$ . Por definição o parâmetro  $x$  é um valor situado entre 0 e 1. Pelo estudo realizado por estes investigadores foi possível concluir que o melhor ajuste ao decaimento do cloro foi conseguido precisamente com este modelo de 1ª ordem paralela. Importa no entanto referir que a água objecto de estudo se referia a águas residuais cloradas e não a água de consumo em SD.

Um outro investigador, Fang Hua, sugeriu um modelo misto de 1ª e 2ª ordem. A velocidade de decaimento é a seguinte:

$$\partial C / \partial t = -k_1 C - k_2 C^2 \quad (4.15)$$

Constatou este investigador que a numa fase inicial o cloro decai mais rapidamente do que noutra fase posterior. O primeiro termo da equação corresponde à fase rápida e o segundo termo à fase mais lenta. Este modelo permitiu ajustes mais verosímeis do que a cinética simples de 1ª ordem.

Outro modelo bastante simples mas muito adaptado à realidade foi sugerido e testado por Trussel [1]:

$$\partial C / \partial t = -k C - R \quad (4.16)$$

Aqui acrescentou-se ao modelo de 1ª ordem simples uma componente linear de consumo de cloro que pretende traduzir o efeito da superfície metálica do recipiente que continha a água. O parâmetro R representa a carência da parede devido à velocidade de corrosão; as suas unidades são habitualmente mg/l.h. Esta filosofia pode ser considerada como um primeiro passo na aplicação de modelos cinéticos a modelos globais referentes ao domínio do sistema de distribuição, englobando já uma componente referente à superfície interna.

Kastl sugeriu um modelo onde a velocidade da reacção é função das concentrações de cloro residual e de duas espécies orgânicas que com ele reagem. A cinética proposta é a seguinte,

$$\partial C/\partial t = -k_1 \cdot C_{Cl} \cdot C_{Org,1} - k_2 \cdot C_{Cl} \cdot C_{Org,2} \quad (4.17)$$

onde  $C_{Cl}$  designa a concentração de cloro residual, e  $C_{Org,1}$  e  $C_{Org,2}$  designam respectivamente as concentrações de duas espécies orgânicas diferentes. Naturalmente que estas duas reacções simultâneas se processam de acordo com cinéticas diversas; daí pressuporem-se duas constantes cinéticas, onde  $k_1 \neq k_2$ .

Este modelo tem particular aplicabilidade para reacções em que as espécies orgânicas que reagem com o cloro não se encontrem em excesso relativamente a este.

#### 4.2 – MODELAÇÃO GLOBAL

A aplicação de modelos cinéticos pressupõe a determinação da(s) constante(s) cinética(s). Acontece que depois de calibrado o modelo cinético, e aplicado ao domínio de um sistema de distribuição de água eram obtidas discrepâncias, entre o valor medido e o estimado, tão mais evidentes quanto menores eram os diâmetros da tubagem. Os valores da concentração de cloro residual estimados pelo modelo teórico eram superiores aos efectivamente aferidos em teste laboratorial. A justificação prende-se com o facto de que este tipo de modelo não engloba a contribuição da superfície interna do SD no decaimento do cloro residual, com a excepção do modelo da expressão 4.16. À medida que o diâmetro da tubagem aumenta dilui-se a contribuição da “reacção de parede”, como se pode constatar pelo a seguir exposto:

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi r \rightarrow \text{Superfície} = L \cdot \text{Perímetro} = L \cdot 2 \cdot \pi r \quad (4.18)$$

$$\text{Área} = \pi r^2 \rightarrow \text{Volume} = L \cdot \text{Área} = L \cdot \pi r^2 \quad (4.19)$$

Sendo L o comprimento. Daqui obtém-se que,

$$\text{Perímetro}/\text{Área} = \text{Superfície}/\text{Volume} = 2/r \quad (4.20)$$

o que traduz então o referido decréscimo da componente superficial com o aumento da dimensão da tubagem. Neste raciocínio r e L designam respectivamente o raio e o comprimento linear de um segmento da tubagem.

No sentido de implementar esta componente de “reacção de parede”, foi proposto por Biswas (em VIEIRA [1]) um modelo (cinético para o decaimento do cloro residual) mais complexo. Este toma em consideração não apenas o decaimento no seio do escoamento, mas também:

- a reacção de parede.
- o transporte convectivo de massa na direcção axial;
- a transferência de massa do seio da água para a parede (difusão radial).



Este modelo assenta na lógica que a seguir se expõe com a representação esquemática de um volume de controlo da tubagem,

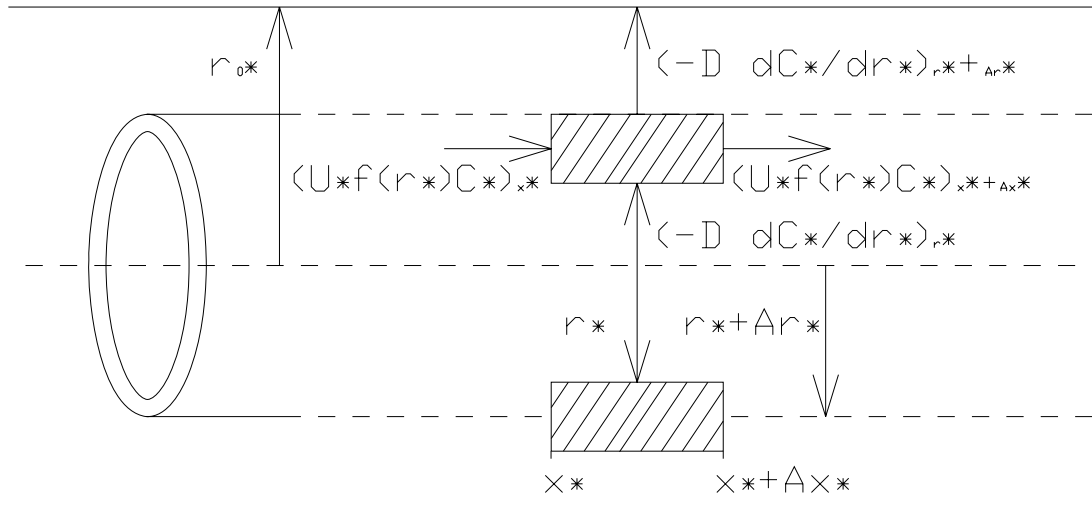


Figura 4.1 – Representação esquemática do volume de controlo (VC) numa tubagem cilíndrica

Fonte: Vieira [1] (adaptado de Biswas e Clark, 1993)

e é regido pela equação de base seguinte, onde se considera que o escoamento tem apenas direcção axial.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta X^* \cdot C^*) = & (U^* \cdot f(r^*) \cdot C^* \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta r^*)_{x^*} - (U^* \cdot f(r^*) \cdot C^* \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta r^*)_{x^* + \Delta X^*} + \left( -D \cdot \frac{\partial C^*}{\partial X^*} \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta r^* \right)_{x^*} \\ & - \left( -D \cdot \frac{\partial C^*}{\partial X^*} \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta r^* \right)_{x^* + \Delta X^*} + \left( -D \cdot \frac{\partial C^*}{\partial r^*} \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta X^* \right)_{r^*} - \left( -D \cdot \frac{\partial C^*}{\partial r^*} \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta X^* \right)_{r^* + \Delta r^*} - K \cdot C^* \cdot 2 \cdot \tau \cdot r^* \cdot \Delta r^* \cdot \Delta X^* \end{aligned} \quad (4.21)$$

O princípio subjacente à lógica aqui estabelecida através da equação diferencial assenta no balanço de massas de água dentro dos limites de um volume de controlo. A sua integração permite pois estender esse volume a todo o sistema de distribuição ao longo do período de tempo pretendido.

O parâmetro  $U^*$  representa a velocidade média através do sistema de distribuição;  $f(r^*)$  traduz o tipo de regime do escoamento;  $D$  representa o coeficiente de difusão das espécies cloradas presentes na água;  $k$  designa a constante cinética de decaimento do cloro no seio do escoamento de acordo com uma lei de primeira ordem;  $r^*$  é a distância radial desde o centro da tubagem até à sua superfície interna;  $\Delta r^*$  e  $\Delta x^*$  representam incrementos de  $r^*$  e de  $X^*$  respectivamente, onde este último se refere ao comprimento linear do volume de controlo.

Nesta equação o primeiro membro traduz a acumulação de cloro no volume de controlo ao longo do tempo. Isto é conseguido através das contribuições individuais do aumento da concentração devida ao transporte convectivo axial (dois primeiros membros do segundo termo), da difusão axial no interior do volume de controlo (dois termos seguintes), à difusão radial volume de controlo (5º e 6º termo) e ao decaimento do cloro residual no seio do escoamento, de acordo com uma cinética de primeira ordem (último termo).

Normalmente, o regime de escoamento no interior dos sistemas de distribuição é do tipo laminar ou turbulento liso. É também usual desprezar o efeito da difusão axial. A resolução da equação diferencial tendo em conta estas condições, e usando um método de separação de variáveis, permite estimar a concentração de cloro residual em todos os pontos do sistema considerado, através da aplicação da seguinte fórmula:

$$C_{\text{média}} = e^{(-A_1 \cdot X)} / (1 + \varepsilon) \quad (4.22)$$

onde,

$$\varepsilon = 2.4416 \cdot A_0 \cdot A_2 - 0.559 \cdot A_0 \cdot A_2^2 \text{ se } 0.01 < A_2 < 10 \quad (4.23)$$

ou

$$\varepsilon = 10.105 \cdot A_0 - 0.559 \cdot A_0 \cdot A_2^2 \text{ se } 10 < A_2 < 100 \quad (4.24)$$

e onde as restantes variáveis são,

$$A_0 = (L^* \cdot D) / (r_0^* \cdot U^*) \quad (4.25)$$

$$A_1 = (kL^*) / (U^*) \quad (4.26)$$

$$A_2 = (Vd^* \cdot r_0^*) / (D) \quad (4.27)$$

$Vd^*$  é um parâmetro empírico proporcional ao grau de consumo na parede. Assume valor nulo quando não existe este consumo; e valor  $\infty$  se o consumo for exclusivamente determinado por esta componente; valores finitos não nulos correspondem a situações intermédias.

O parâmetro  $A_0$  contabiliza o efeito da difusão radial; depende do comprimento da tubagem, da difusividade das espécies de cloro e da velocidade da água no sistema.

O parâmetro  $A_1$  depende da reactividade do cloro com outras espécies químicas e organismos microbiológicos, bem como do tempo da idade da água.

O parâmetro  $A_2$  traduz o efeito do “consumo de parede”, do raio da tubagem e da difusividade das espécies de cloro.

Os parâmetros  $r_0^*$  e  $L^*$  são respectivamente o raio e o comprimento da tubagem.

A determinação destes parâmetros é feita a partir de dados laboratoriais de acordo com uma metodologia proposta pelo autor.

A aplicação deste modelo veio confirmar que a difusão radial e o “consumo de parede” podem ser significativos. [1]

#### 4.3 – MODELOS EM AMBIENTE EPANET2.0 E EPANET-MSX

Como objectivos do presente trabalho encontram-se a modelação do decaimento do cloro residual e a formação de trihalometanos daí resultante, ao longo de um sistema de distribuição, explorando para isso as potencialidades oferecidas pela nova extensão Epanet-MSX.

Uma das limitações do Epanet2.0 é a impossibilidade de modelar mais do que uma espécie química simultaneamente. O MSX (*Multiple Species Extension*) vem permitir acrescentar quantas espécies químicas se pretendam. Além disso possibilita estabelecer as leis químicas de interacção entre elas, afectando-se mutuamente. Por exemplo é possível vincular a formação de trihalometanos ao decaimento do cloro residual. Esta foi aliás a metodologia seguida neste trabalho, como haverá oportunidade de se observar mais adiante.

O método de cálculo do Epanet baseia-se na discriminação do sistema de distribuição em elementos discretos – ver figura em baixo.

O Epanet desenvolve uma rotina de cálculo qualitativo dentro de uma rotina global de cálculo hidráulico. Ou seja, o software distingue os períodos de tempo de análise do caudal e da evolução da qualidade da água. Este último é menor (geralmente) que o passo hidráulico.

Em cada passo de cálculo hidráulico de duração  $\Delta t$ , onde são consideradas homogéneas as condições hidráulicas (velocidade, pressão, etc), é determinado um passo de cálculo qualitativo  $\delta t_i$ . A tubagem é dividida em segmentos de comprimento  $V \delta t_i$  onde se consideram ser homogéneas as características qualitativas da água.  $V$  representa a velocidade do escoamento em cada tubagem, motivo pelo qual os comprimentos de análise qualitativa são diferentes em cada tubagem.

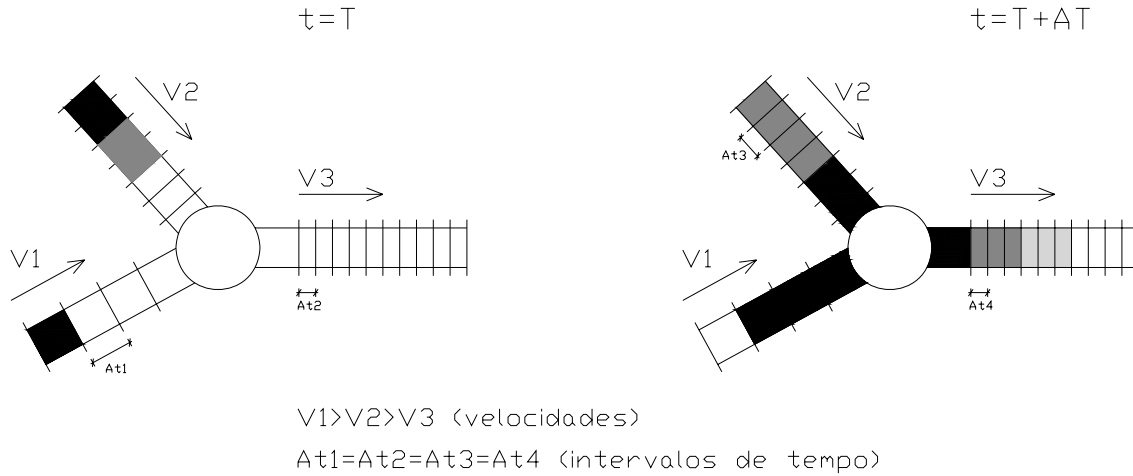


Figura 4.2 – Andamento do passo de cálculo hidráulico (Epanet) – *Discrete Volume Element Method*

Fonte: Vieira [1] (adaptado de Biswas e Clark, 1993)

O modelo genérico de qualidade proposto por Lewis Rossman, o autor do Epanet2.0, é o que a seguir se apresenta,

$$\frac{\partial C_{ij}}{\partial t} = V_{ij} \left( \frac{\partial C_{ij}}{\partial x_{ij}} \right) + \theta(C_{ij}) \quad (4.28 \text{ a})$$

Subjacente a esta equação está o princípio da conservação de massa. Os índices  $i$  e  $j$  referem-se aos nós de origem e destino de cada troço de tubagem. Depois de integrado em ordem às variáveis  $x_{ij}$  e  $t$  – espaço e tempo – o primeiro termo representa a concentração  $C_{ij}$  em cada troço, em função do local e do tempo decorrido. A distância à origem é então representada pela variável  $x_{ij}$ .  $V_{ij}$  designa a velocidade em cada passo hidráulico, no instante  $t$ . O último termo do segundo membro é o que especificamente se refere à cinética da reacção. O termo anterior está relacionado com o transporte convectivo da espécie química em estudo.

O arranque do processo de cálculo é possível depois de introduzidas as condições fronteira iniciais ( $t=0$ ) na origem ou origens da água – nó  $i$  do troço onde  $x_{ij}$  seja igual a zero – ou seja, onde a distância à origem for nula. Isto é conseguido a partir da definição da concentração inicial calculada da seguinte forma,

$$C_{ij}(0, t) = \frac{\sum_k q_{ki} \cdot C_{ki}(L_{ki}, t) + M}{\sum_k q_{ki} + Q_{si}} \quad (4.28 \text{ b})$$

onde:

- $\sum q_{ki}$  é o somatório do caudal proveniente de todos os troços  $ki$  que afluem ao nó  $i$  do troço  $ij$ ;
- $L_{ki}$  é o comprimento de cada troço  $ij$ ;
- $M_i$  é a quantidade da espécie química a modelar, pontualmente proveniente de uma origem externa e introduzida no nó  $i$ ;
- $Q_{si}$  é o caudal que escoar da origem do sistema de distribuição.

A marcha de cálculo avança pela execução da rotina qualitativa, em que a espécie química existente em cada segmento reage de acordo com a sua cinética, procedendo-se à integração temporal da equação 4.28 em cada segmento discreto para um período de tempo igual a  $\Delta t$ .

Posteriormente, as características determinadas são transferidas para o segmento de jusante. No caso de este ser um nó, é feita a média ponderada das concentrações da espécie química proveniente das várias tubagens que ali confluem. O novo passo hidráulico importa as características qualitativas da rotina qualitativa anterior. Recalculados o caudal e velocidade em novo passo hidráulico, procede-se de novo a uma rotina qualitativa.

A componente relativa à qualidade da água incorporada na equação 4.28 é como se disse o último termo do segundo membro –  $\theta(C_{ij})$ . Este, de acordo com Lewis Rossman, permite modelar reacções no seio do escoamento e “reacções de parede”:

$$\theta(C) = \theta_{\text{bulk}}(C) + \theta_{\text{wall}}(C) \quad (4.29)$$

Quanto à reacção que ocorre no seio do escoamento (bulk) é possível introduzir no Epanet 2.0 um de dois tipos de cinéticas. Uma cinética simples de ordem n,

$$\theta_{\text{bulk}}(C) = k_b C^n \quad (4.30)$$

e uma cinética de ordem n limitada,

$$\theta_{\text{bulk}}(C) = k_b (C - C_{\text{lim}})^{(n-1)} \quad (4.31)$$

onde  $C_{\text{lim}}$  é a concentração limite da componente estável da espécie química.

No que se refere à “reacção de parede” pode ser imposta uma cinética de ordem 0 ou de ordem 1, de acordo com o seguinte,

$$\theta_{\text{wall}}(C) = (A/V) k_w C^n \quad (4.32)$$

onde:

- $k_w$  é a constante cinética; se for de ordem 0 as dimensões introduzidas serão em g/m<sup>2</sup>/dia; se for de ordem 1 as dimensões serão em m/dia.
- $A/V$  é o quociente entre a área superficial interna da tubagem pelo seu volume; o mesmo é dizer:  $2/r$  – ver equação 4.20.
- $C$  é a concentração da espécie química no seio do escoamento, em g/m<sup>3</sup>.
- $n$  designa a ordem da reacção.

O processo de calibração das constantes cinéticas  $k_b$  e  $k_w$  utilizadas neste modelo é feito por fases. Inicialmente são colhidas amostras da água em vários pontos do sistema de distribuição, incluindo o ponto de saída da ETA. É registada a evolução da concentração da espécie química a modelar em todos esses pontos, de acordo com os procedimentos do “teste de garrafa” já anteriormente referidos. A partir dos dados referentes ao ponto de entrada no sistema de distribuição é possível, por ajuste estatístico, determinar a constante cinética  $k_b$ . Posteriormente, já no modelo de cálculo automático, é executado um processo iterativo onde se arbitram valores para  $k_w$  até se minimizarem as discrepâncias entre os valores simulados pelo modelo e os registados pela análise laboratorial.

Deve, no entanto, ser referido um importante pormenor relativamente à constante cinética  $k_b$ . O conhecimento actual sobre o decaimento do cloro residual em sistemas de abastecimento de água, permite constatar que (independentemente das características qualitativas da água) esse decaimento é influenciado pelo regime do escoamento. Genericamente, condições hidráulicas que resultem num elevado valor do número de Reynolds favorecem o aumento da constante cinética  $k_b$ . Ora, os testes laboratoriais efectuados em amostras colhidas da rede não permitem simular essas mesmas condições hidráulicas, resultando daqui uma subavaliação do  $k_b$ .

# 5

## **Modelação conjunta de cloro residual e trihalometanos**



Antes do aparecimento do Epanet-MSX era já possível modelar em Epanet o decaimento de cloro residual e a formação de trihalometanos. Isto era conseguido executando duas simulações; uma para cada espécie química. Era necessário seleccionar e calibrar a lei cinética que melhor se adaptaria a cada caso. Na realidade tratava-se de executar duas simulações distintas em que as variáveis eram completamente independentes.

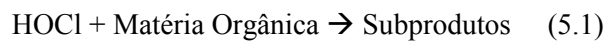
### 5.1 - O MODELO DE CLARK

No presente trabalho não só foi possível modelar simultaneamente a evolução do cloro residual e dos trihalometanos, como se conseguiu vincular a formação dos subprodutos com o decaimento do residual. Para tal muito contribuiu Robert M. Clark, um investigador que propôs um modelo onde considera que a formação de subprodutos resulta directamente do decaimento do cloro residual. Ou seja, o crescimento de trihalometanos é directamente proporcional ao consumo de cloro residual.

Este autor considerou que deveria ter em conta o efeito das características da água, incluindo no seu modelo aspectos como o pH, o teor de bromo, de matéria orgânica natural, a temperatura da água e outros aspectos mais redundantes como a presença de amónia.

A presença de bromo está directamente relacionada com a formação de THM já que esta substância, à semelhança do cloro, é um dos elementos químicos halogenados que integram a composição química destes subprodutos. A temperatura é um factor determinante em qualquer reacção química, tal como o pH se esta ocorrer em meio aquoso. A presença de amónia poderá atenuar a formação de alguns SPD, dando preferência à ocorrência de outros.

O princípio subjacente à lógica sugerida por Clark é o de que da reacção do ácido hipocloroso, resultante da cloração da água - ver equações 2.1 e 2.2 - com as substâncias precursoras de THM (ácido húmico e fúlvico) resulta em determinada proporção uma quantidade de subprodutos:



Generalizando tem-se então o já anteriormente exposto na equação (4.1) onde A e B representam os reagentes e P o somatório dos subprodutos da reacção. A cinética das reacções que ocorrem é dada por:

$$\partial \text{CA} / \partial t = -k_A \cdot \text{C}_A \cdot \text{C}_B \quad (5.2)$$

$$\partial \text{CB} / \partial t = -k_B \cdot \text{C}_A \cdot \text{C}_B \quad (5.3)$$

$$\partial \text{CP} / \partial t = k_P \cdot \text{C}_A \cdot \text{C}_B \quad (5.4)$$

onde  $k_A/a = k_B/b = k_P/p$ .

Aplicando este raciocínio ao decaimento do cloro residual e à formação de trihalometanos, e depois de desenvolvidos alguns cálculos matemáticos, resulta na seguinte equação sugerida para o decaimento do cloro residual:

$$\text{C}_A(t) = \text{C}_{A0} \cdot (1-K) / (1-K \cdot e^{-u \cdot t}) \quad (5.5)$$

onde  $\text{C}_{A0}$  é a concentração de cloro inicial e  $\text{C}_A$  a concentração de cloro em cada instante, ambos em mg/litro; K um parâmetro adimensional; u uma constante que traduz o rácio de decaimento; e t o tempo em minutos. O parâmetro u pode ainda ser desmembrado da seguinte forma:

$$u = M \cdot (1-K) \quad (5.6)$$

com

$$M = k_A \cdot b \cdot C_{A0}/a \quad ; M > 0 \quad (5.7)$$

A formação de trihalometanos é proporcional ao decaimento do cloro residual, como se pode interpretar do seguinte modelo sugerido por Clark:

$$TTHM = D \cdot \left( C_{A0} - \left( \frac{C_{A0} \cdot (1 - K)}{(1 - K \cdot e^{-at})} \right) \right) \quad (5.8)$$

D é um parâmetro adimensional; e os restantes parâmetros são os já definidos acima.

No sentido de reflectir neste modelo o efeito das características da água, o autor define os parâmetros K, D e M como:

$$K = a_1 \cdot (C_{A0})^{b_1} \cdot (COT)^{c_1} \cdot (pH)^{d_1} \cdot (temp)^{e_1} \quad (5.9)$$

$$D = a_2 \cdot (C_{A0})^{b_2} \cdot (COT)^{c_2} \cdot (pH)^{d_2} \cdot (temp)^{e_2} \quad (5.10)$$

$$\text{Log}(M) = a_3 + c_3 \cdot COT + d_3 \cdot pH + e_3 \cdot temp + f_3 \cdot temp \cdot pH \quad (5.11)$$

Estes coeficientes e expoentes são calibrados a partir de amostras de água recolhida e analisada em laboratório. Pretende-se fazer um ajuste deste modelo aos valores do decaimento do cloro residual registados ao longo do tempo, o que é possível, de acordo com Clark, usando um procedimento estatístico designado por REG, do SAS Institute, Inc.

Os resultados da calibração são obtidos pela minimização das discrepâncias entre os valores aferidos laboratorialmente e os valores calculados, de acordo com,

$$\text{Erro } Cl_2 = \Sigma((Cl_2 \text{ REGISTADO} - Cl_2 \text{ PREVISTO})/Cl_2 \text{ MÉDIO}) \quad (5.12)$$

para o cloro residual, e

$$\text{Erro } TTHM = \Sigma((TTHM_{\text{REGISTADO}} - TTHM_{\text{PREVISTO}})/TTHM_{\text{MÉDIO}}) \quad (5.13)$$

para os trihalometanos.

TTHM designa o total de trihalometanos; ou seja, a soma das quantidades/concentrações dos 4 tipos de trihalometanos habituais.

Os valores médios (em denominador) são a média dos valores registados em laboratório.

## 5.2 - MODELAÇÃO EM EPANET-MSX

Esta nova extensão do Epanet, o módulo de múltiplas espécies (MSX), não é um programa independente. Trata-se de uma ferramenta que funciona em conjunto com o Epanet clássico. Foi já referido que o método de cálculo do Epanet se baseia na execução de uma rotina qualitativa dentro de uma outra rotina de cálculo hidráulico.

O que o MSX vem permitir é definir de forma mais completa, ou robusta, as leis que regem a cinética das reacções que se pretendam modelar, passando a ignorar os anteriores princípios qualitativos inerentes à versão antiga do Epanet.

Contudo a modelação não é efectuada no familiar e amigável ambiente do Epanet2.0. O princípio de cálculo subjacente compreende duas partes: a definição dos componentes físicos da rede; e a definição das espécies químicas e respectivas cinéticas. A definição e montagem da rede pode ser efectuada no Epanet2.0; seguidamente deve ser exportada para um ficheiro *.inp*. As condições qualitativas do problema a modelar são impostas através de uma linha de comandos a partir de um ficheiro de texto; estas opções são gravadas num ficheiro do tipo *.msx*. O procedimento de cálculo consiste em “chamar” as bibliotecas de funções do Epanet – *Epanet2.dll* e *EpanetMSX.dll* – a partir da *Command Prompt*, dando-lhe ordem para ler a rede



no ficheiro *.inp* e para ler as opções qualitativas no ficheiro *.msx*. Os resultados são exportados para um ficheiro do tipo *.rpt* criado aquando do cálculo.

Alternativamente à execução do programa a partir da *Command Prompt*, existe uma outra opção que passa por “correr” uma aplicação designada por *MSX-GUI* (*Grafical User Interface*), desenvolvida por Zonum Solutions [www.zonums.com] especificamente para facilitar a interacção com o MSX, criando um ambiente mais amigável ao utilizador habitual do sistema operativo *Microsoft Windows*. Existem alguns cuidados a ter para garantir o funcionamento desta interface; é necessário disponibilizar na mesma directoria/pasta onde se encontrem o executável *MSX.GUI* e as bibliotecas de funções *Epanet2.dll* e *EpanetMSX.dll*, três ficheiros de extensão *.bpl*: *rtl60.bpl*, *vcl60.bpl* e *vclie60.bpl*. Estes são também fornecidos online por Zonum Solutions.

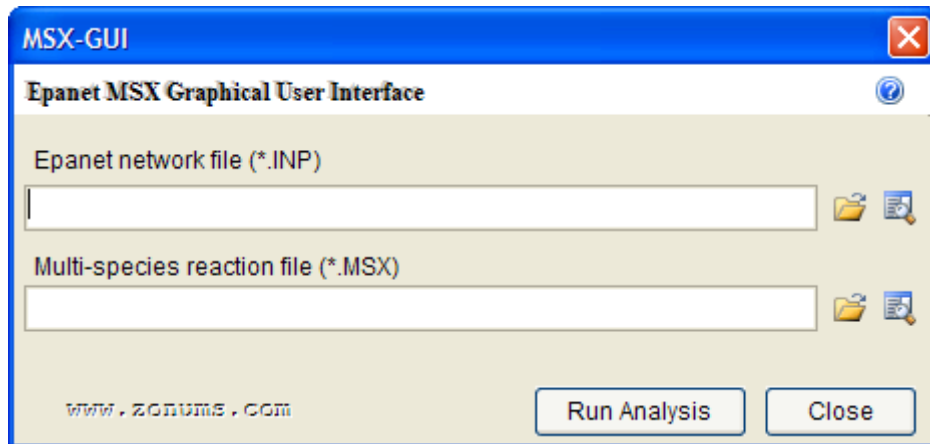


Figura 5.1 – Interface gráfica para Epanet-MSX de Zonum Solutions

Fonte: www.zonums.com

A componente prática efectuada no âmbito do presente trabalho compreendeu duas fases distintas: validação do Epanet-MSX e aplicação do modelo de Clark a um sistema de distribuição complexo.

Inicialmente, sentindo-se a necessidade de testar os cálculos efectuados pelo módulo MSX, foi simulado o decaimento do cloro residual no Epanet2.0 e no Epanet-MSX, exactamente para a mesma rede hidráulica e de acordo com as mesmas condições qualitativas.

A rede hidráulica, muito simples, é composta por um reservatório de nível fixo, dois nós de consumo, e duas tubagens que os unem a partir do reservatório.

Esta é uma rede hipotética criada apenas com o intuito de permitir descobrir se para as mesmas condições de cálculo eram produzidos por ambos os programas os mesmos resultados.

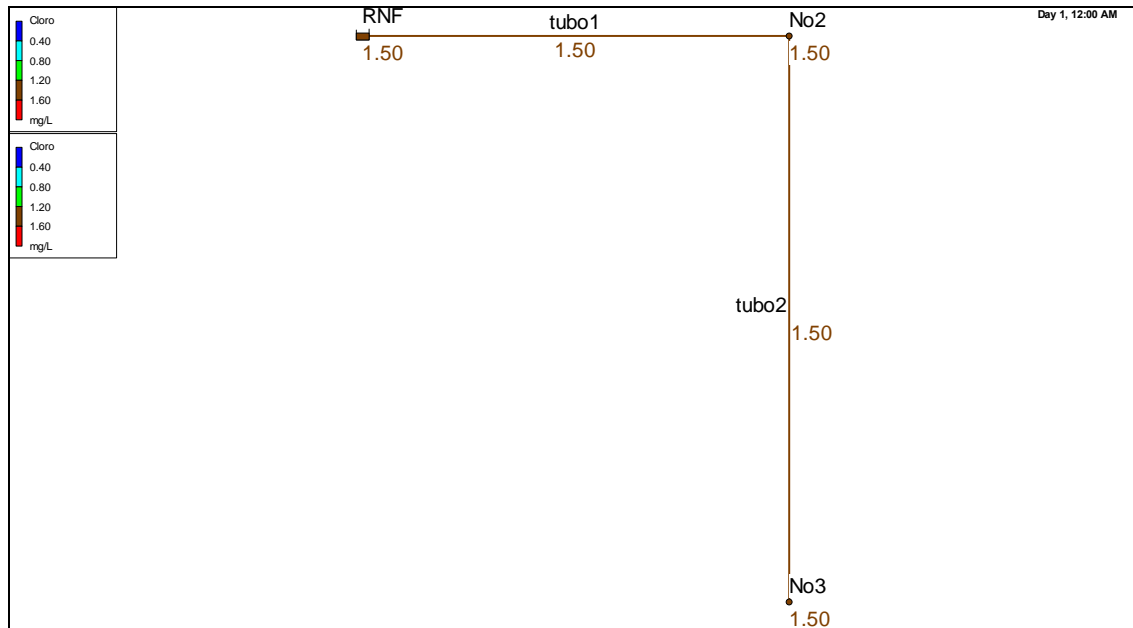


Figura 5.2 – Rede hidráulica simples

Foram definidas as seguintes condições para a rede acima ilustrada:

Rede Simples – RNF-Tubo1-Nó2-Tubo2-Nó3			
Node ID	Cota Topográfica m	Consumo de Base L/s	Concentração de Cloro Livre Inicial mg/L
Nó2	50	567	1.5
Nó3	20	678	1.5
RNF	100	#N/A	1.5

Tabela 5.1 – Configuração da rede hidráulica simples – Nós

Rede Simples – RNF-Tubo1-Nó2-Tubo2-Nó3			
	Comprimento L	Diâmetro mm	Rugosidade D-W mm
Tubo1	5000	1000	0.04
Tubo2	5000	1000	0.04

Tabela 5.2 – Configuração da rede hidráulica simples – Tubagens

A reacção química simulada, também muito simples, diz respeito ao decaimento de 1ª ordem de uma substância residual, como por exemplo o cloro. Foi definida uma constante cinética no seio do escoamento de  $k_B = -1.5/\text{dia}$ . Não foi considerado qualquer tipo de “ reacção de parede”. Há

que ter em atenção o facto de que esta constante cinética tem que ser definida em horas<sup>-1</sup> no ambiente *.msx*.

Para se ter noção do tipo de dados a introduzir para o processamento de cálculo do MSX, veja-se os exemplos dos ficheiros *.inp* e *.msx* que constam do Anexo1.

Na modelação da qualidade da água ao longo do sistema de distribuição, o Epanet considera que podem haver evoluções qualitativas quer nas tubagens quer no interior dos reservatórios de nível variável. Nesta rede simples não foi considerado nenhum reservatório de nível variável como se pode observar pela figura 5.1 e pelo ficheiro *.inp*; contudo, o ficheiro *.msx* exige que se definam os modelos cinéticos das espécies químicas a modelar, quer para as tubagens [ PIPES ], quer para este tipo de reservatórios [ TANKS ], mesmo que não existam.

Em termos de ficheiro *.msx*, há que ter em consideração alguns dos aspectos mais importantes que se abordam de seguida. Na secção de [ SPECIES ] são declaradas (ou criadas) as várias espécies químicas:

```
[ SPECIES ]
BULK          CloroA          MG
BULK          TempoHR         MG
BULK          CloroB          MG
BULK          TempoMIN        MG
BULK          CloroC          MG
BULK          TTHM            UG
```

A linha de comandos que se pode observar em cima é a forma de declarar as variáveis pretendidas em ambiente MSX. A 1ª coluna determina que tipo de reacção é que se pretende declarar – BULK ou WALL. Neste caso, a evolução destas espécies ao longo do SD acontece apenas por reacção no seio do escoamento. A 2ª coluna denomina a espécie química; e a 3ª coluna atribui as unidades respectivas – MG (miligramas) ou UG (microgramas).

Na secção dos [ COEFFICIENTS ] é onde se podem designar alguns parâmetros auxiliares de cálculo.

A cinética das reacções químicas é então declarada para as tubagens [ PIPES ] e reservatórios de nível variável [ TANKS ], como anteriormente se referiu. As funções químicas são exactamente as mesmas para (ambos) estes dois tipos de componentes da rede hidráulica, pelo que aqui se apresentam apenas a secção referente às tubagens. A função RATE é a que permite definir a cinética das reacções, através da sua formulação diferencial. A função FORMULA não é mais do que uma instrução que indica ao programa para executar uma operação matemática simples, onde a espécie “formulada” é directamente dependente de espécies químicas e/ou parâmetros já determinados anteriormente.

```
[ PIPES ]
RATE          CloroA          K*CloroA
RATE          TempoHR         1
FORMULA       CloroB          CloroBinicial*exp(K*TempoHR)
RATE          TempoMIN        60
FORMULA       CloroC          kk/(1-RR*exp(-uu*TempoMIN))
FORMULA       TTHM            CloroCinicial-
(CloroCinicial*(1-RR))/(1-RR*exp(-uu*TempoMIN))
```

Os resultados que se obtiveram são suficientes para validar o cálculo do módulo MSX. Tal pode ser constatado na folha de resultados que abaixo se apresenta, e onde constam ainda outras espécies químicas modeladas que de seguida se analisarão.

Os dados referentes ao “Cloro E2.0” dizem respeito aos resultados obtidos na modelação da qualidade no ambiente do clássico Epanet 2.0. Os dados referenciados por “CloroA” foram definidos a partir da forma diferencial da cinética de 1ª ordem em ambiente MSX, e pretendem ser exactamente o mesmo que o “Cloro E2.0” definido no Epanet 2.0.

A linha de comando que permite declarar esta opção, e que consta das secções de [PIPES] e de [TANKS] do ficheiro .msx, é a seguinte:

```
RATE          CloroA          K*CloroA
```

que não é mais do que a definição da concentração da espécie química CloroA a partir da sua constante cinética  $k_B$ , que se encontra definida na secção de [COEFFICIENTS] do ficheiro .msx.

A utilização da função RATE corresponde à definição da cinética da reacção química através da sua forma diferencial, como se disse anteriormente.

Foi também definida outra espécie química – CloroB – que pretende ser uma vez mais o cloro residual que é consumido no seio do escoamento, mas desta vez declarada a partir da forma integrada da cinética de 1ª ordem. Neste caso foi criada uma SPECIE denominada TempoHR que corresponde ao tempo (em horas), e posteriormente foi executada uma operação matemática através da função FORMULA, onde é evidente a formulação da lei de 1ª ordem.

A espécie química CloroC diz respeito à aplicação da lei de decaimento do cloro residual proposta por Clark, e a espécie TTHM designa o total de trihalometanos que decorre do decaimento desse residual. Mas como a evolução da concentração destas espécies é função directa da idade da água em minutos, de acordo com a formulação de Clark, foi necessário criar a espécie química TempoMIN. É a partir desta espécie que pela função FORMULA se calculam em todos os instantes as concentrações de cloro residual e de trihalometanos.

A simulação efectuada compreendeu um período de tempo propositadamente exagerado de 296 horas, simplesmente para garantir que as concentrações das espécies químicas modeladas teriam tempo suficiente para convergir. Atenção ao facto de que apesar de na secção de [PATTERNS] do ficheiro .inp estar definido um padrão de consumo de 24 horas, este não foi associado ao caudal de base nos Nós 2 e 3. Os resultados obtidos são os que se apresentam no Anexo2.

A penúltima coluna da tabela apresenta os resultados da subtracção (em módulo) entre os valores resultantes da simulação do cloro residual no Epanet2.0 e da espécie química CloroA modelada no Epanet-MSX. Pode constatar-se que as discrepâncias entre estes valores não excedem a ordem das centésimas de mg/l, o que é suficiente, na óptica do autor, para aprovar os resultados obtidos a partir da nova extensão MSX. Na coluna seguinte apresentam-se por sua vez os resultados (em módulo) da diferença entre as espécies químicas CloroA e CloroB, ambas modeladas a partir do MSX. Estas correspondem à simulação do decaimento do cloro residual modelado através das formas diferencial e integrada da cinética de 1ª ordem, respectivamente. As diferenças encontradas são pontuais e ocorrem sobretudo no Nó2. São também muito pequenas, da ordem das centésimas de mg/l. O mais provável é que decorram de aproximações/arredondamentos efectuados internamente pelo Epanet.

Por inerência está também subjacente a este cálculo a comparação do CloroB com o cloro residual simulado em Epanet2.0 – Cloro2.0.

Como a espécie CloroB depende da variável TempoHR (tempo em horas) este cálculo serviu sobretudo para aferir da verosimilhança desta última espécie química, validando assim também a espécie química TempoMIN (tempo em minutos) que viria a ser necessária posteriormente para a modelação do cloro residual e dos trihalometanos através da equação de Clark.

No secção 5.1 onde se abordaram as considerações efectuadas por Clark no desenvolvimento do seu modelo cinético, foi visto que o decaimento do cloro e a formação de trihalometanos depende dos parâmetros K e M.

Para aplicação do modelo de Clark, foi feito um ajuste entre os valores calculados analiticamente por este modelo e os valores da espécie CloroA. Recorreu-se à função Solver do *Microsoft Excel*, que permite arbitrar automaticamente valores para os parâmetros K e M, até se minimizar o somatório dos quadrados das diferenças.

Os parâmetros resultantes do ajuste foram:

- $K=3.32359604681533$ ;
- $M=0.000322462273391908$ .

Assim, foi já possível calcular o CloroC de forma a que os seus valores convergissem com os valores das espécies químicas anteriormente calculadas, nomeadamente o Cloro E2.0, o CloroA e o CloroB.

O cálculo do total de trihalometanos (TTHM) resulta directamente do decaimento do CloroC, sendo apenas afectado por uma constante de proporcionalidade D. Na prática, este parâmetro traduz que existe uma componente dos SPD que resulta em trihalometanos. O valor adoptado foi  $D = 30.75$ , mas sem nenhuma razão especial, apenas porque foi um valor considerado razoável tendo em conta alguns dos valores obtidos nas investigações de Clark. Por esta razão os valores de TTHM calculados não são verosímeis. No entanto fica estabelecida uma metodologia que permite aferir simultaneamente a concentração de cloro residual e de trihalometanos. Mas para que os resultados destes SPD sejam compatíveis com o decaimento do residual há que calibrar o valor da constante de proporcionalidade D, procedendo a uma campanha de recolha de amostras de água e registo da evolução da concentração de TTHM ao longo do tempo. Pela natureza académica deste caso de estudo, baseado numa rede fictícia e em parâmetros qualitativos igualmente hipotéticos, não faz qualquer sentido considerar-se a existência deste tipo de dados.

A segunda parte da componente prática do trabalho recaiu então sobre uma rede mais complexa do que a anteriormente analisada. Importantes são sem dúvida algumas considerações que resultaram deste primeiro estudo efectuado. Constatou-se que o módulo Epanet-MSX produz óptimos resultados quando comparado com os produzidos no Epanet2.0. Serve isto para validar o seu funcionamento, confortando o utilizador que o pretenda utilizar em casos de redes hidráulicas reais e mais complexas.

Foi o que se fez de seguida, aplicando o modelo cinético desenvolvido a uma rede semi-real. A rede utilizada nesta segunda parte do trabalho prático baseia-se na rede existente em Vilar de Andorinho, em Vila Nova de Gaia – ver figura seguinte. Contudo alguns parâmetros foram alterados, de forma a não divulgar as características da rede real existente.



Figura 5.3 – Rede de distribuição de Vilar de Andorinho, Vila Nova de Gaia

A simulação efectuada compreendeu agora um período de tempo muito mais curto, de apenas 72 horas. Este tempo é suficiente para fazer convergir os valores do cloro residual e trihalometanos. Isto é, um período de 72 horas é suficiente para que a água proveniente do reservatório alcance o ponto mais distante da rede hidráulica. Foi definida uma concentração de cloro inicial de 1.5 mg/l em toda a rede. Neste caso todos os consumos se efectuam de acordo com um padrão de consumo de 24 horas – ver secção de [ PATTERNS ] do ficheiro *.inp*.

As características da rede podem ser analisadas através dos ficheiros *.inp* e *.msx* que se apresentam no Anexo 3, bem como também no CD anexo que faz parte integrante deste trabalho.

Os consumos dos nós desta rede seguem um padrão de consumo de 24 horas, que pode ser observado na secção de [ PATTERNS ] do ficheiro *.inp*. Todas as considerações relativas à qualidade presentes neste ficheiro devem ser ignoradas, já que o Epanet-MSX apenas considera os parâmetros qualitativos declarados no ficheiro *.msx* que também pode ser observado no Anexo 3.

A simulação da concentração de cloro residual e de trihalometanos partiu dos mesmos dados relativos à modelação da rede simples anteriormente analisada.

Dada a grande dimensão dos resultados obtidos, não é razoável apresentá-los na íntegra. Podem no entanto ser consultados em formato digital, no CD anexo ao presente trabalho. Os que de seguida se apresentam no gráfico abaixo, dizem respeito a nós com localizações propositadamente distintas.

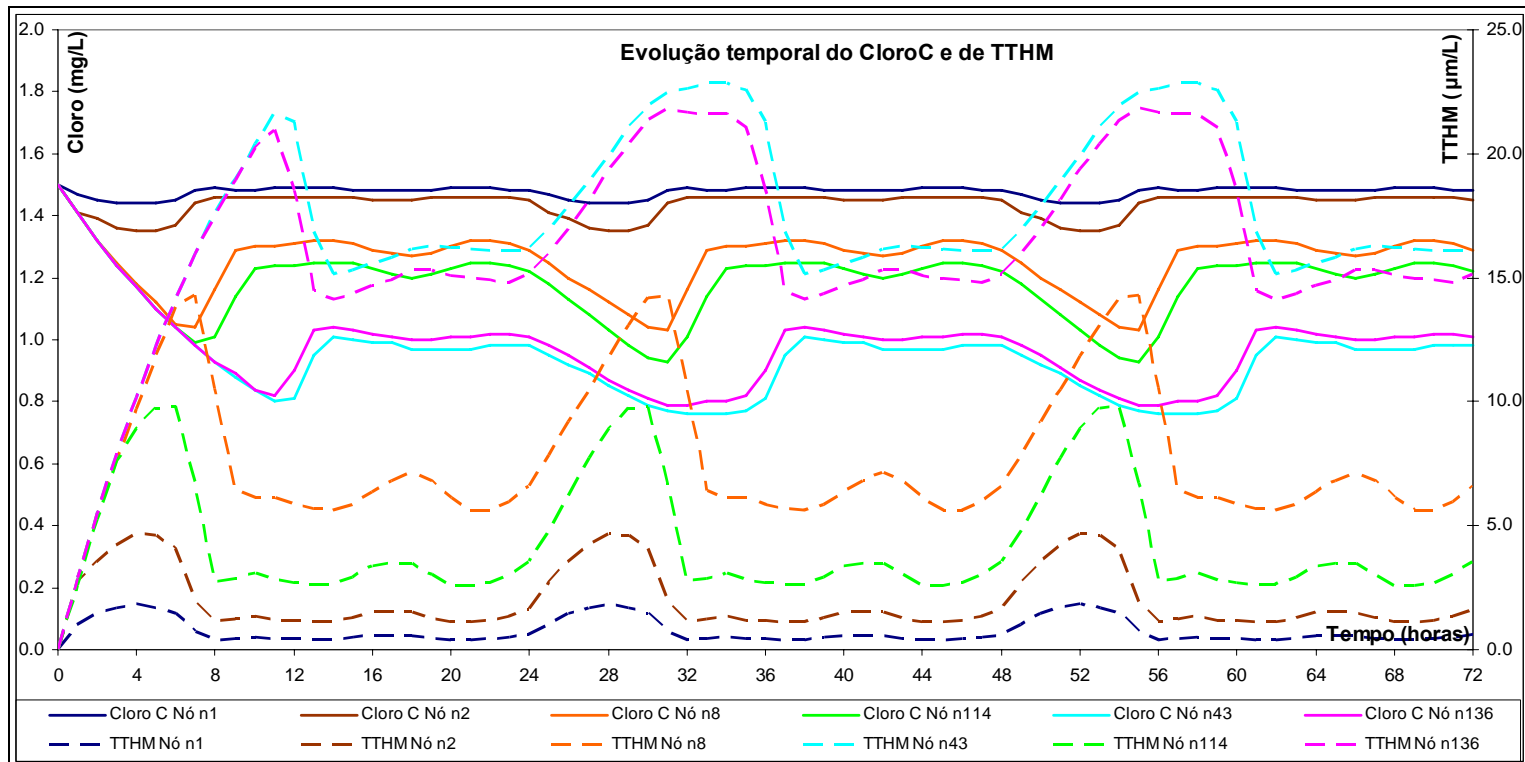


Figura 5.4 – Evolução dos níveis de cloro residual e TTHM em alguns pontos do SD de V. de Andorinho



Os nós n1 e n2, que se situam nas proximidades do reservatório de nível fixo (RNF) onde tem origem a água distribuída pelo sistema, sentem, por essa mesma proximidade, concentrações elevadas de cloro residual e níveis reduzidos de trihalometanos. Os nós que se localizam nos extremos da rede sentem já acentuadamente o efeito do envelhecimento da água provocado pelo seu afastamento relativamente à origem. Tal pode ser observado a partir da evolução das concentrações de cloro residual e de trihalometanos nos nós n136 e n43, onde os níveis de TTHM são os mais elevados do conjunto de locais aqui analisados. Pontos intermédios relativamente à origem e finais da rede, como os nós n8 e n114, reflectem uma evolução previsivelmente compreendida entre os casos extremos citados.

Outro aspecto que comprova o distanciamento à origem dos pontos extremos – n43 e n136 – é o facto de que o pico máximo de TTHM se fazer aqui sentir algumas horas depois de ocorrer nos nós mais próximos da origem.

É também evidente o comportamento periódico da evolução dos níveis de desinfectante e subprodutos, sinal de que a partir de determinado momento toda a água proveniente da origem alcançou os pontos referidos. Como esta tem sempre concentração de desinfectante residual constante (1.5 mg/l) origina uma rotina nos níveis de cloro e trihalometanos ajustada ao comportamento repetitivo dos consumos de água em toda a rede, imposta pelo padrão de consumo definido inicialmente. Este valor (1.5 mg/l) é bastante elevado comparativamente com o que é habitualmente aplicado em situações reais.

Entre a 28<sup>a</sup> e a 36<sup>a</sup> hora os níveis de cloro residual são mínimos nos locais analisados da rede. Neste instante houve já tempo suficiente para ultrapassar o processo inicial de afluência da água oriunda da origem, convergindo os valores de desinfectante e subprodutos para o referido comportamento periódico. Para se ter noção da panorâmica geral das concentrações de cloro e TTHM nesse período apresentam-se de seguida dois *layouts* referentes a cada uma das substâncias, para o instante correspondente à 32<sup>a</sup> hora.



Figura 5.5 – Concentração de cloro residual no SD de V. de Andorinho pelas 32 horas





Figura 5.6 – Concentração de TTHM no SD de V. de Andorinho pelas 32 horas

Nestas figuras, a tonalidade azul indica condições favoráveis, isto é, elevadas concentrações de cloro residual e baixos níveis de trihalometanos; no extremo oposto, a tonalidade encarnada representa condições mais preocupantes para o consumidor da água distribuída. É interessante notar que os cenários apresentados são muito idênticos. Tal pode ser explicado pela forma como se procede à legendagem dos valores dessas concentrações, efectuada através da discriminação em iguais quantis. Desta forma é evidente a sintonia entre a evolução espacial do desinfectante e dos subproductos, comprovando a complementaridade entre as duas substâncias.



# **6**

## **Comentários finais e conclusões**



O objectivo concreto da realização deste trabalho consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação conjunta da evolução do cloro residual e da consequente formação de trihalometanos, tirando partido das potencialidades da nova extensão do Epanet, o módulo MSX.

Houve oportunidade para contactar com a problemática da desinfecção da água de consumo. O desinfectante residual (aplicado à saída da ETA), os microrganismos e os subprodutos da desinfecção são variáveis intimamente relacionadas e directamente dependentes. A obrigação de eliminar/neutralizar os microrganismos patogénicos inevitavelmente presentes na água à saída da ETA, impõe que se aplique um residual de desinfectante que oxide os microrganismos. Acontece porém que este residual interage com outras substâncias presentes na água, nomeadamente com compostos orgânicos – ácidos húmicos e fúlvicos – dando origem à formação de subprodutos da desinfecção, onde os trihalometanos ocupam lugar de destaque.

Vários estudos comprovam que a exposição de mamíferos a este tipo de substâncias provoca lesões graves ao nível de órgãos vitais, podendo mesmo ser fatal. Isto acontece quando são administradas doses bastante elevadas comparativamente com as quantidades/concentrações que habitualmente podem ser encontradas na água abastecida pelos sistemas de distribuição.

De facto nenhum estudo efectuado até ao momento permitiu relacionar a ocorrência de lesões ou fatalidades decorrentes da ingestão de água transportada pelos SD, pese embora o facto de se saber que muitas das substâncias que transportam são prejudiciais.

Contrariamente, existem inúmeros relatos de surtos epidémicos provocados por deficiente tratamento/desinfecção da água distribuída, mesmo em países desenvolvidos.

Com o desenvolvimento deste trabalho pode compreender-se esta problemática nas suas três vertentes, subscrevendo a prática da desinfecção da água, tal como o faz a Organização Mundial de Saúde, que é peremptória em afirmar que os riscos decorrentes da não eliminação de microrganismos patogénicos através da desinfecção são muitíssimo maiores do que os que resultam da formação dos seus subprodutos.

No que diz respeito ao objectivo concreto deste trabalho, devem ser tecidas algumas considerações relativas ao programa informático utilizado bem como ao modelo cinético aplicado.

O Epanet-MSX permitiu obter resultados coerentes, comparativamente com o Epanet2.0. Tal pode ser constatado pela análise da modelação, em ambos os ambientes, do decaimento do cloro residual na “rede simples”; recorde-se que as discrepâncias entre as espécies químicas “Cloro2.0” modelada em Epanet2.0 e “CloroA” modelada em Epanet-MSX eram de facto muito pequenas, da ordem das centésimas de mg/l. Assim, este estudo inicial permitiu validar o cálculo do módulo MSX. Isto é deveras importante pois permite deixar o utilizador deste programa bastante confortável com a sua utilização e eventual aplicação em sistemas de distribuição reais.

Quanto ao modelo cinético de Clark, convém elucidar que a filosofia subjacente ao mecanismo do decaimento do cloro residual e à consequente formação de trihalometanos, pode ser aplicada de igual forma a qualquer outro tipo de reacção em que a partir de uma substância inicial, por reacção química, se de lugar à formação de um determinado subproduto. O que determina efectivamente a aplicabilidade deste modelo a determinada reacção química, é a calibração do modelo em função das espécies químicas que se pretendam analisar. Subjacente a isto está, inicialmente, a calibração do modelo hidráulico, e posteriormente a calibração do modelo qualitativo. Nesta segunda fase há ainda o problema da subavaliação da constante cinética  $k_b$ , já que o decaimento do cloro residual no seio do volume de água é favorecido por regimes de escoamento com elevado número de Reynolds.

Deve referir-se também que a componente da “reação de parede” não é englobada neste modelo cinético. No entanto este é o único dos modelos cinéticos analisados que permite relacionar directamente a evolução simultânea do cloro residual e dos trihalometanos. Fica como sugestão para futuros desenvolvimentos desta temática a inclusão de uma componente de decaimento de cloro referente à interacção com as superfícies internas do sistema de distribuição.

**Bibliografia:**

- [1] - Vieira, Paula Alexandra. Decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água para consumo humano. Tese de Mestrado. L.N.E.C. 2002
- [2] - Beleza, Joaquim Manuel de Bessa Branco. Simulação das concentrações de cloro residual e de trihalometanos em redes de distribuição de água para consumo humano. Dissertação de Mestrado. FEUP. 2005
- [3] - Baruth, Edward E. Water Treatment Plant Design –American Society of Civil Engineers – American Water Works Association. 2004
- [4] – Environmental Protection Agency – Office of Water. EPA Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants. Abril, 1999
- [5] - HDR Engineering, Inc. Handbook of public water systems. - John Wiley and Sons. Março, 2001
- [6] - Vasconcelos, Paul F. Boulos. Characterization and Modeling of Chlorine Decay in Distribution Systems. AWWA Research Foundation. American Water Works Association. 1996
- [7] - Baribeau, Hélène; Singer, Philip. Formation and decay of disinfection by-products in the distribution systems. AWWA Research Foundation, United States. Environmental Protection Agency. Junho, 2007
- [8] - Lu, Wen ; Kiéné, Laurent; Lévi, Yves. Chlorine demand of biofilms in water distribution systems. Maio, 1998
- [9] - Xie, Yuefeng F. Disinfection Byproducts in drinking water: formation, analysis and control. Lewis Publishers. 2004
- [10] – Bregman, Jacob. I.; Craig, Kelley; Melchor, James R. Environmental Compliance Handbook. Chapter V – Drinking Water. CRC Press. Setembro, 1996
- [11] - Cheremisinoff, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. Chapter I – An overview of water and wastewater treatment. Butterworth-Heinemann. 2002
- [12] - Clark, Robert M. Chlorine demand and TTHM formation kinetics: A second-order model. Journal of Environmental Engineering. Janeiro, 1998
- [13] - Clark, Robert M; Sivaganesan, Mano. Predicting chlorine residuals and formation of TTHM in drinking water. Journal of Environmental Engineering. Dezembro, 1998
- [14] - Minocha, Vijay K. Discussion of “Predicting chlorine residuals in drinking water.” by Robert M. Clark and Mano Sivaganesan. Journal of water resources planning and management. ASCE. Setembro/Outubro, 2003
- [15] - Office of Research and Development - National Homeland Security Research Center. Epanet Multi-Species Extension User’s Manual. EPA. Cincinnati, Ohio. Janeiro, 2008
- [16] - Organização Mundial de Saúde. Environmental Health Criteria 216. Disinfectants and Disinfectant By-Products.. Genebra, 2000.

**Referências online:**

- [12] – <http://www.epa.gov/ogwdw/standard/tretech.html>. Abril, 2009
- [13] – Water treatment unit processes: physical and chemical. David W. Hendricks. Online Google Books. Abril, 2009









# **ANEXO 1**



Ficheiro do tipo *.inp*:

[TITLE]

Rede Simples: RNF-Tubo1-Nó2-Tubo2-Nó3

[JUNCTIONS]

;ID	Elev	Demand	Pattern
No2	50	567	
No3	20	678	

[RESERVOIRS]

;ID	Head	Pattern
RNF	100	

[TANKS]

;ID	Elevation	InitLevel	MinLevel	MaxLevel	Diameter	MinVol	VolCurve
-----	-----------	-----------	----------	----------	----------	--------	----------

[PIPES]

;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status
tubo2	No2	No3	5000	1000	0.04	0	Open
tubo1	RNF	No2	5000	1000	0.04	0	Open

[PUMPS]

;ID	Node1	Node2	Parameters
-----	-------	-------	------------

[VALVES]

;ID	Node1	Node2	Diameter	TypeSetting	MinorLoss
-----	-------	-------	----------	-------------	-----------

[TAGS]

[DEMANDS]

Junction	Demand	Pattern	Category
----------	--------	---------	----------

[STATUS]

ID	Status/Setting
----	----------------

[PATTERNS]

ID	Multipliers
----	-------------

Caudal - Factor horário (só do consumo doméstico; dia útil)	
---	--

fh_du_domestico	0.454	0.241	0.173	0.143	0.173	0.241
fh_du_domestico	0.762	1.46	1.305	1.181	1.384	1.427
fh_du_domestico	1.453	1.471	1.243	1.033	1.033	1.033
fh_du_domestico	1.272	1.481	1.497	1.417	1.188	0.935

[CURVES]

ID	X-Value	Y-Value
----	---------	---------

[CONTROLS]

[RULES]

[ENERGY]

Global Efficiency	75
Global Price	0
Demand Charge	0

[EMITTERS]

Junction	Coefficient
----------	-------------

[QUALITY]

;Node	InitQual
No2	1.5
No3	1.5
RNF	1.5

[SOURCES]

;Node	Type	Quality	Pattern
-------	------	---------	---------

[REACTIONS]

;Type	Pipe/Tank	Coefficient
-------	-----------	-------------

[REACTIONS]

Order Bulk	1
Order Tank	1
Order Wall	1
Global Bulk	-1.50
Global Wall	0
Limiting Potential	0
Roughness Correlation	0

[MIXING]

;Tank	Model
-------	-------

[TIMES]

Duration	296:00
Hydraulic Timestep	0:05
Quality Timestep	0:05
Pattern Timestep	1:00
Pattern Start	0:00

Report Timestep	1:00
Report Start	0:00
Start ClockTime	12:00 AM
Statistic	NONE

[REPORT]

Status	Full
Summary	No
Page	0

[OPTIONS]

Units	LPS
Headloss	D-W
Specific Gravity	1
Viscosity	1.31
Trials	40
Accuracy	0.001
Unbalanced	Continue 10
Pattern	fh_du_domestico
Demand Multiplier	1
Emitter Exponent	1.18
Quality	Cloro mg/L
Diffusivity	1
Tolerance	0.01

[COORDINATES]

;Node	X-Coord	Y-Coord
No2	6068.85	2255.74
No3	6068.35	786.08
RNF	4960.66	2255.74

[VERTICES]

;Link	X-Coord	Y-Coord
-------	---------	---------

[LABELS]

;X-Coord	Y-Coord	Label & Anchor Node
----------	---------	---------------------

[BACKDROP]

DIMENSIONS	4905.25	712.59	6124.26	2329.22
UNITS	Meters			

FILE

OFFSET	0.00	0.00
--------	------	------

[END]

Ficheiro do tipo *.msx*:

[TITLE]

Teste comparativo entre o EPANET 2.0 e o EPANET-MSX  
Decaimento do CloroResidual – Cinética de 1ª Ordem

[OPTIONS]

AREA_UNITS M2	;Surface concentration is mass/m2\par
RATE_UNITS HR	;Reaction rates are concentration/hour\par
SOLVER RK5	;5-th order Runge-Kutta integrator\par
TIMESTEP 360	;360 sec (5 min) solution time step\par
RTOL 0.001	;Relative concentration tolerance\par
ATOL 0.0001	;Absolute concentration tolerance\par

[SPECIES]

BULK CloroA	MG
BULK TempoHR	MG
BULK CloroB	MG
BULK TempoMIN	MG
BULK CloroC	MG
BULK TTHM	UG

[COEFFICIENTS]

CONSTANT	KB	-0.0625
CONSTANT	K	0.23
CONSTANT	DD	30.75
CONSTANT	M	0.20
CONSTANT	CloroBinicial	1.5
CONSTANT	CloroCinicial	1.5



[PIPES]

RATE	CloroA	$KB \cdot CloroA$
RATE	TempoHR	1
FORMULA	CloroB	$CloroBinicial \cdot \exp(KB \cdot TempoHR)$
RATE	TempoMIN	60
FORMULA	CloroC	$CloroCinicial \cdot (1-K) / (1-K \cdot \exp(-(M \cdot (1-K)) \cdot TempoMIN))$
FORMULA	TTHM	$DD \cdot (CloroCinicial - CloroCinicial \cdot (1-K) / (1-K \cdot \exp(-(M \cdot (1-K)) \cdot TempoMIN)))$

[TANKS]

RATE	CloroA	$KB \cdot CloroA$
RATE	TempoHR	1
FORMULA	CloroB	$CloroBinicial \cdot \exp(KB \cdot TempoHR)$
RATE	TempoMIN	60
FORMULA	CloroC	$CloroCinicial \cdot (1-K) / (1-K \cdot \exp(-(M \cdot (1-K)) \cdot TempoMIN))$
FORMULA	TTHM	$DD \cdot (CloroCinicial - CloroCinicial \cdot (1-K) / (1-K \cdot \exp(-(M \cdot (1-K)) \cdot TempoMIN)))$

[QUALITY]

GLOBAL	CloroA	1.5
GLOBAL	CloroB	1.5
GLOBAL	CloroC	1.5
;NODE	RNF	CloroB
;NODE	RNF	CloroC

Definido como CloroBinicial na secção dos COEFFICIENTS

Definido como CloroCinicial na secção dos COEFFICIENTS

[REPORT]

NODES	ALL	;Report results for nodes 1 and 2
LINKS	ALL	;Report results for pipe 1 e 2
SPECIE	TempoMIN	YES
SPECIE	TempoHR	YES
SPECIE	CloroA	YES
SPECIE	CloroB	YES

;Report results for TempoMIN

;Report results for TempoHR

;Report results for CloroResidual

;Report results for CloroResidual

SPECIE CloroC	YES	;Report results for CloroResidual
SPECIE TTHM	YES	;Report results for TTHM

## **ANEXO 2**



E P A N E T – M S X  
Multi-Species Water Quality  
Analysis for Pipe Networks

Decaimento do CloroResidual - Cinética de 1ª  
Ordem

<<< Node No2 >>>

Time	Cloro E2.0	CloroA	TempoHR	CloroB	TempoMIN	CloroC	TTHM	Diferença E2.0- MSX	Diferença CloroA - CloroB
hr:min	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	MG/L	MG/L
0:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
1:00	1.41	1.41	1	1.41	60	1.41	2.85	0	0
2:00	1.32	1.32	2	1.32	120	1.32	5.47	0	0
3:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
4:00	1.2	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0.01	0
5:00	1.15	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0.01	0
6:00	1.12	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0	0
7:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
8:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
9:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
10:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
11:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
12:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
13:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
14:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
15:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
16:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
17:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
18:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
19:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
20:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
21:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
22:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
23:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
24:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
25:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
26:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
27:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
28:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
29:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
30:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
31:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
32:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
33:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
34:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
35:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
36:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
37:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
38:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0

39:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
40:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
41:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
42:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
43:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
44:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
45:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
46:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
47:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
48:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
49:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
50:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
51:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
52:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
53:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
54:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
55:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
56:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
57:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
58:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
59:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
60:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
61:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
62:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
63:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
64:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
65:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
66:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
67:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
68:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
69:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
70:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
71:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
72:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
73:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
74:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
75:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
76:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
77:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
78:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
79:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
80:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
81:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
82:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
83:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
84:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
85:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
86:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
87:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
88:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
89:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
90:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
91:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
92:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
93:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
94:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0

95:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
96:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
97:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
98:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
99:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
100:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
101:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
102:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
103:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
104:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
105:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
106:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
107:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
108:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
109:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
110:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
111:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
112:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
113:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
114:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
115:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
116:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
117:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
118:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
119:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
120:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
121:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
122:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
123:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
124:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
125:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
126:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
127:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
128:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
129:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
130:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
131:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
132:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
133:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
134:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
135:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
136:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
137:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
138:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
139:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
140:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
141:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
142:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
143:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
144:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
145:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
146:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
147:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
148:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
149:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
150:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0

151:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
152:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
153:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
154:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
155:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
156:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
157:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
158:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
159:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
160:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
161:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
162:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
163:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
164:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
165:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
166:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
167:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
168:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
169:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
170:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
171:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
172:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
173:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
174:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
175:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
176:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
177:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
178:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
179:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
180:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
181:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
182:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
183:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
184:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
185:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
186:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
187:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
188:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
189:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
190:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
191:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
192:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
193:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
194:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
195:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
196:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
197:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
198:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
199:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
200:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
201:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
202:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
203:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
204:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
205:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
206:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0



207:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
208:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
209:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
210:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
211:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
212:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
213:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
214:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
215:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
216:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
217:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
218:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
219:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
220:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
221:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
222:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
223:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
224:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
225:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
226:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
227:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
228:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
229:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
230:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
231:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
232:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
233:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
234:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
235:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
236:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
237:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
238:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
239:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
240:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
241:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
242:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
243:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
244:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
245:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
246:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
247:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
248:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
249:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
250:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
251:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
252:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
253:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
254:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
255:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
256:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
257:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
258:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
259:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
260:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
261:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
262:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0

263:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
264:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
265:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
266:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
267:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
268:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
269:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
270:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
271:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
272:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0
273:00:00	1.43	1.44	0.69	1.44	41.48	1.44	1.99	0.01	0
274:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.62	1.43	2.19	0	0
275:00:00	1.44	1.44	0.65	1.44	38.78	1.44	1.87	0	0
276:00:00	1.44	1.44	0.62	1.44	37.47	1.44	1.81	0	0
277:00:00	1.45	1.44	0.62	1.44	36.94	1.44	1.78	0.01	0
278:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.54	1.44	1.76	0.01	0
279:00:00	1.43	1.43	0.72	1.43	43.38	1.43	2.08	0	0
280:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
281:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
282:00:00	1.42	1.42	0.86	1.42	51.69	1.42	2.47	0	0
283:00:00	1.43	1.44	0.71	1.43	42.53	1.43	2.04	0.01	0.01
284:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	36.3	1.44	1.75	0.01	0
285:00:00	1.45	1.44	0.6	1.44	35.92	1.44	1.73	0.01	0
286:00:00	1.44	1.44	0.63	1.44	37.72	1.44	1.82	0	0
287:00:00	1.43	1.43	0.76	1.43	45.3	1.43	2.17	0	0
288:00:00	1.42	1.41	0.94	1.41	56.23	1.41	2.67	0.01	0
289:00:00	1.38	1.37	1.42	1.37	85	1.37	3.97	0.01	0
290:00:00	1.31	1.31	2.19	1.31	131.42	1.31	5.95	0	0
291:00:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
292:00:00	1.19	1.19	3.7	1.19	222	1.19	9.48	0	0
293:00:00	1.14	1.14	4.32	1.14	259.28	1.15	10.83	0	0
294:00:00	1.13	1.12	4.62	1.12	277.11	1.13	11.45	0.01	0
295:00:00	1.36	1.36	1.57	1.36	94.3	1.36	4.37	0	0
296:00:00	1.45	1.44	0.61	1.44	36.81	1.44	1.77	0.01	0

<<< Node No3 >>>

Time	Cloro E2.0	CloroA	TempoHR	CloroB	TempoMIN	CloroC	TTHM	Diferença E2.0- MSX	Diferença CloroA - CloroB
hr:min	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	MG/L	MG/L
0:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
1:00	1.41	1.41	1	1.41	60	1.41	2.85	0	0
2:00	1.32	1.32	2	1.32	120	1.32	5.47	0	0
3:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
4:00	1.17	1.17	4	1.17	240	1.17	10.14	0	0
5:00	1.1	1.1	5	1.1	300	1.1	12.22	0	0
6:00	1.03	1.03	6	1.03	360	1.04	14.16	0	0
7:00	0.97	0.97	7	0.97	420	0.98	15.96	0	0
8:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
9:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
10:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
11:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
12:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
13:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
14:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
15:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0

16:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
17:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
18:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
19:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
20:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
21:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
22:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
23:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
24:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
25:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
26:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
27:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
28:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
29:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
30:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
31:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
32:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
33:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
34:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
35:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
36:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
37:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
38:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
39:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
40:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
41:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
42:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
43:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
44:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
45:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
46:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
47:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
48:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
49:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
50:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
51:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
52:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
53:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
54:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
55:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
56:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
57:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
58:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
59:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
60:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
61:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
62:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
63:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
64:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
65:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
66:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
67:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
68:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
69:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
70:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
71:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0

72:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
73:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
74:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
75:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
76:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
77:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
78:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
79:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
80:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
81:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
82:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
83:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
84:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
85:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
86:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
87:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
88:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
89:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
90:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
91:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
92:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
93:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
94:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
95:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
96:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
97:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
98:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
99:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
100:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
101:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
102:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
103:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
104:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
105:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
106:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
107:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
108:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
109:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
110:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
111:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
112:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
113:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
114:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
115:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
116:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
117:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
118:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
119:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
120:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
121:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
122:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
123:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
124:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
125:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
126:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
127:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0

128:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
129:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
130:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
131:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
132:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
133:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
134:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
135:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
136:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
137:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
138:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
139:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
140:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
141:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
142:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
143:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
144:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
145:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
146:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
147:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
148:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
149:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
150:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
151:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
152:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
153:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
154:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
155:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
156:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
157:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
158:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
159:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
160:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
161:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
162:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
163:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
164:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
165:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
166:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
167:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
168:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
169:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
170:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
171:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
172:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
173:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
174:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
175:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
176:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
177:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
178:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
179:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
180:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
181:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
182:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
183:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0

184:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
185:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
186:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
187:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
188:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
189:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
190:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
191:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
192:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
193:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
194:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
195:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
196:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
197:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
198:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
199:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
200:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
201:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
202:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
203:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
204:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
205:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
206:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
207:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
208:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
209:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
210:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
211:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
212:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
213:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
214:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
215:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
216:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
217:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
218:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
219:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
220:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
221:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
222:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
223:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
224:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
225:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
226:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
227:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
228:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
229:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
230:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
231:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
232:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
233:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
234:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
235:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
236:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
237:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
238:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
239:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0

240:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
241:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
242:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
243:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
244:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
245:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
246:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
247:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
248:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
249:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
250:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
251:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
252:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
253:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
254:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
255:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
256:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
257:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
258:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
259:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
260:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
261:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
262:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
263:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
264:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
265:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
266:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
267:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
268:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
269:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
270:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
271:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0
272:00:00	1.21	1.21	3.46	1.21	207.66	1.21	8.95	0	0
273:00:00	1.34	1.34	1.82	1.34	109.26	1.34	5.02	0	0
274:00:00	1.32	1.32	1.99	1.32	119.69	1.32	5.46	0	0
275:00:00	1.33	1.33	1.94	1.33	116.61	1.33	5.33	0	0
276:00:00	1.34	1.34	1.78	1.34	106.85	1.34	4.91	0	0
277:00:00	1.35	1.35	1.74	1.35	104.31	1.34	4.8	0	0
278:00:00	1.35	1.35	1.72	1.35	103.09	1.35	4.75	0	0
279:00:00	1.33	1.34	1.85	1.34	111.01	1.33	5.09	0.01	0
280:00:00	1.31	1.31	2.14	1.31	128.66	1.31	5.83	0	0
281:00:00	1.3	1.3	2.34	1.3	140.55	1.29	6.32	0	0
282:00:00	1.29	1.29	2.41	1.29	144.52	1.29	6.48	0	0
283:00:00	1.31	1.31	2.21	1.31	132.38	1.31	5.99	0	0
284:00:00	1.34	1.34	1.81	1.34	108.75	1.34	4.99	0	0
285:00:00	1.35	1.35	1.69	1.35	101.16	1.35	4.67	0	0
286:00:00	1.35	1.35	1.73	1.35	103.56	1.34	4.77	0	0
287:00:00	1.33	1.33	1.93	1.33	115.51	1.33	5.28	0	0
288:00:00	1.31	1.3	2.26	1.3	135.6	1.3	6.12	0.01	0
289:00:00	1.25	1.25	2.91	1.25	174.82	1.25	7.69	0	0
290:00:00	1.19	1.19	3.69	1.19	221.14	1.19	9.45	0	0
291:00:00	1.13	1.13	4.54	1.13	272.35	1.13	11.28	0	0
292:00:00	1.07	1.07	5.42	1.07	325	1.08	13.05	0	0
293:00:00	1.02	1.01	6.29	1.01	377.34	1.02	14.69	0.01	0
294:00:00	0.96	0.96	7.1	0.96	425.84	0.98	16.13	0	0
295:00:00	0.95	0.95	7.33	0.95	439.57	0.96	16.52	0	0

296:00:00 1.21 1.21 3.46 1.21 207.66 1.21 8.95 0 0

<<< Node RNF >>>

Time	Cloro	CloroA	TempoHR	CloroB	TempoMIN	CloroC	TTHM	Diferença	Diferença
hr:min	E2.0 MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	E2.0- MSX MG/L	CloroA - CloroB MG/L
0:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
1:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
2:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
3:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
4:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
5:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
6:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
7:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
8:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
9:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
10:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
11:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
12:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
13:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
14:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
15:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
16:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
17:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
18:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
19:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
20:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
21:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
22:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
23:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
24:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
25:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
26:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
27:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
28:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
29:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
30:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
31:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
32:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
33:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
34:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
35:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
36:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
37:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
38:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
39:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
40:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
41:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
42:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
43:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
44:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
45:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
46:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
47:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
48:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0



49:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
50:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
51:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
52:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
53:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
54:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
55:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
56:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
57:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
58:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
59:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
60:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
61:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
62:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
63:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
64:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
65:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
66:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
67:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
68:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
69:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
70:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
71:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
72:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
73:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
74:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
75:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
76:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
77:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
78:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
79:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
80:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
81:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
82:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
83:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
84:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
85:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
86:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
87:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
88:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
89:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
90:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
91:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
92:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
93:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
94:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
95:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
96:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
97:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
98:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
99:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
100:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
101:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
102:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
103:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
104:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0

[illegible]

[illegible]

[illegible]

273:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
274:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
275:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
276:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
277:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
278:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
279:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
280:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
281:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
282:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
283:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
284:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
285:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
286:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
287:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
288:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
289:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
290:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
291:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
292:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
293:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
294:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
295:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
296:00:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0

<<< Link tubo2 >>>

Time	Cloro	CloroA	TempoHR	CloroB	TempoMIN	CloroC	TTHM	Diferença	Diferença
hr:min	E2.0 MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	E2.0- MSX MG/L	CloroA - CloroB MG/L
0:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
1:00	1.41	1.41	1	1.41	60	1.41	2.85	0	0
2:00	1.32	1.32	2	1.32	120	1.32	5.47	0	0
3:00	1.24	1.24	3	1.24	180	1.24	7.9	0	0
4:00	1.17	1.17	3.99	1.17	239.1	1.17	10.11	0	0
5:00	1.1	1.1	4.93	1.1	295.75	1.11	12.08	0	0
6:00	1.04	1.05	5.78	1.05	346.68	1.05	13.73	0.01	0
7:00	1.1	1.1	5.13	1.1	307.83	1.1	12.24	0	0
8:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
9:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
10:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
11:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
12:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
13:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
14:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
15:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
16:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
17:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
18:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
19:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
20:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
21:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
22:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
23:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
24:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
25:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0

26:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
27:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
28:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
29:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
30:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
31:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
32:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
33:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
34:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
35:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
36:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
37:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
38:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
39:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
40:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
41:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
42:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
43:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
44:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
45:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
46:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
47:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
48:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
49:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
50:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
51:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
52:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
53:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
54:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
55:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
56:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
57:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
58:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
59:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
60:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
61:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
62:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
63:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
64:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
65:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
66:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
67:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
68:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
69:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
70:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
71:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
72:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
73:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
74:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
75:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
76:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
77:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
78:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
79:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
80:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
81:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0

82:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
83:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
84:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
85:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
86:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
87:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
88:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
89:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
90:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
91:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
92:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
93:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
94:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
95:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
96:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
97:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
98:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
99:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
100:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
101:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
102:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
103:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
104:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
105:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
106:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
107:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
108:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
109:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
110:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
111:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
112:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
113:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
114:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
115:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
116:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
117:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
118:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
119:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
120:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
121:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
122:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
123:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
124:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
125:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
126:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
127:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
128:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
129:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
130:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
131:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
132:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
133:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
134:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
135:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
136:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
137:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0

138:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
139:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
140:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
141:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
142:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
143:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
144:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
145:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
146:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
147:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
148:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
149:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
150:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
151:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
152:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
153:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
154:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
155:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
156:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
157:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
158:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
159:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
160:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
161:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
162:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
163:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
164:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
165:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
166:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
167:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
168:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
169:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
170:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
171:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
172:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
173:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
174:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
175:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
176:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
177:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
178:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
179:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
180:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
181:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
182:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
183:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
184:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
185:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
186:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
187:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
188:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
189:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
190:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
191:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
192:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
193:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0



194:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
195:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
196:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
197:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
198:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
199:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
200:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
201:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
202:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
203:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
204:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
205:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
206:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
207:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
208:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
209:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
210:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
211:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
212:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
213:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
214:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
215:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
216:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
217:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
218:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
219:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
220:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
221:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
222:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
223:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
224:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
225:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
226:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
227:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
228:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
229:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
230:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
231:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
232:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
233:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
234:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
235:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
236:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
237:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
238:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
239:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
240:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
241:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
242:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
243:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
244:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
245:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
246:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
247:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
248:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
249:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0

250:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
251:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
252:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
253:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
254:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
255:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
256:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
257:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
258:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
259:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
260:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
261:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
262:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
263:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
264:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
265:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
266:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
267:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
268:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
269:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
270:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
271:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
272:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0
273:00:00	1.39	1.39	1.22	1.39	73.39	1.39	3.44	0	0
274:00:00	1.38	1.38	1.35	1.38	81.01	1.38	3.78	0	0
275:00:00	1.39	1.39	1.23	1.39	73.9	1.39	3.46	0	0
276:00:00	1.4	1.4	1.16	1.4	69.34	1.39	3.26	0	0
277:00:00	1.4	1.4	1.13	1.4	67.86	1.4	3.19	0	0
278:00:00	1.4	1.4	1.12	1.4	66.9	1.4	3.15	0	0
279:00:00	1.39	1.39	1.26	1.39	75.77	1.38	3.55	0	0
280:00:00	1.37	1.37	1.49	1.37	89.21	1.37	4.14	0	0
281:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.27	1.36	4.39	0	0
282:00:00	1.36	1.36	1.6	1.36	95.82	1.36	4.42	0	0
283:00:00	1.38	1.38	1.37	1.38	82.44	1.38	3.83	0	0
284:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.4	1.4	3.21	0	0
285:00:00	1.4	1.4	1.09	1.4	65.69	1.4	3.09	0	0
286:00:00	1.4	1.4	1.14	1.4	68.56	1.4	3.22	0	0
287:00:00	1.38	1.38	1.31	1.38	78.83	1.38	3.68	0	0
288:00:00	1.36	1.36	1.59	1.36	95.46	1.36	4.41	0	0
289:00:00	1.31	1.31	2.2	1.31	131.78	1.31	5.94	0	0
290:00:00	1.25	1.25	2.97	1.25	178.34	1.25	7.81	0	0
291:00:00	1.18	1.18	3.81	1.18	228.31	1.18	9.7	0	0
292:00:00	1.12	1.12	4.66	1.12	279.58	1.13	11.51	0	0
293:00:00	1.07	1.07	5.46	1.07	327.51	1.07	13.11	0	0
294:00:00	1.02	1.02	6.13	1.02	367.8	1.03	14.37	0	0
295:00:00	1.09	1.09	5.15	1.09	309.29	1.1	12.28	0	0
296:00:00	1.38	1.38	1.39	1.38	83.24	1.37	3.85	0	0

<<< Link tubo1 >>>

Time	Cloro	CloroA	TempoHR	CloroB	TempoMIN	CloroC	TTHM	Diferença E2.0-MSX	Diferença CloroA - CloroB
hr:min	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	UG/L	MG/L	MG/L
0:00	1.5	1.5	0	1.5	0	1.5	0	0	0
1:00	1.43	1.43	0.73	1.43	43.51	1.43	2.07	0	0
2:00	1.38	1.38	1.3	1.38	78.25	1.38	3.63	0	0

3:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
4:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
5:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
6:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
7:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
8:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
9:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
10:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
11:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
12:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
13:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
14:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
15:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
16:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
17:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
18:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
19:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
20:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
21:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
22:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
23:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
24:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
25:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
26:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
27:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
28:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
29:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
30:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
31:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
32:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
33:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
34:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
35:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
36:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
37:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
38:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
39:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
40:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
41:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
42:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
43:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
44:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
45:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
46:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
47:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
48:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
49:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
50:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
51:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
52:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
53:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
54:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
55:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
56:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
57:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
58:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0

59:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
60:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
61:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
62:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
63:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
64:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
65:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
66:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
67:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
68:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
69:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
70:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
71:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
72:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
73:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
74:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
75:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
76:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
77:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
78:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
79:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
80:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
81:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
82:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
83:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
84:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
85:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
86:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
87:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
88:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
89:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
90:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
91:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
92:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
93:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
94:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
95:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
96:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
97:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
98:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
99:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
100:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
101:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
102:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
103:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
104:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
105:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
106:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
107:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
108:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
109:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
110:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
111:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
112:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
113:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
114:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0

115:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
116:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
117:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
118:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
119:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
120:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
121:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
122:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
123:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
124:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
125:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
126:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
127:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
128:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
129:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
130:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
131:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
132:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
133:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
134:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
135:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
136:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
137:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
138:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
139:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
140:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
141:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
142:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
143:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
144:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
145:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
146:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
147:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
148:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
149:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
150:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
151:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
152:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
153:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
154:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
155:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
156:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
157:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
158:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
159:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
160:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
161:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
162:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
163:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
164:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
165:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
166:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
167:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
168:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
169:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
170:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0

171:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
172:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
173:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
174:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
175:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
176:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
177:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
178:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
179:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
180:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
181:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
182:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
183:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
184:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
185:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
186:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
187:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
188:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
189:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
190:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
191:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
192:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
193:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
194:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
195:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
196:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
197:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
198:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
199:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
200:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
201:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
202:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
203:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
204:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
205:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
206:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
207:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
208:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
209:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
210:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
211:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
212:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
213:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
214:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
215:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
216:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
217:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
218:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
219:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
220:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
221:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
222:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
223:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
224:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
225:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
226:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0

227:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
228:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
229:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
230:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
231:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
232:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
233:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
234:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
235:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
236:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
237:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
238:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
239:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
240:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
241:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
242:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
243:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
244:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
245:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
246:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
247:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
248:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
249:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
250:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
251:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
252:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
253:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
254:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
255:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
256:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
257:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
258:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
259:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
260:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
261:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
262:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
263:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
264:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
265:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
266:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
267:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
268:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
269:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
270:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
271:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
272:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0
273:00:00	1.47	1.47	0.3	1.47	18.25	1.47	0.89	0	0
274:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.43	1.47	0.99	0	0
275:00:00	1.47	1.47	0.29	1.47	17.15	1.47	0.83	0	0
276:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.56	1.47	0.81	0	0
277:00:00	1.48	1.47	0.27	1.47	16.21	1.47	0.79	0.01	0
278:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	15.97	1.47	0.78	0	0
279:00:00	1.47	1.47	0.32	1.47	19.3	1.47	0.94	0	0
280:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
281:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0
282:00:00	1.46	1.46	0.39	1.46	23.69	1.46	1.14	0	0

283:00:00	1.47	1.47	0.31	1.47	18.8	1.47	0.91	0	0
284:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.84	1.47	0.77	0	0
285:00:00	1.48	1.48	0.26	1.48	15.64	1.48	0.76	0	0
286:00:00	1.47	1.47	0.28	1.47	16.7	1.47	0.81	0	0
287:00:00	1.47	1.47	0.34	1.47	20.31	1.47	0.98	0	0
288:00:00	1.46	1.46	0.44	1.46	26.37	1.46	1.27	0	0
289:00:00	1.43	1.43	0.82	1.43	49.24	1.42	2.33	0	0
290:00:00	1.38	1.38	1.32	1.38	79.05	1.38	3.66	0	0
291:00:00	1.34	1.34	1.8	1.34	108.27	1.34	4.9	0	0
292:00:00	1.31	1.31	2.26	1.31	135.34	1.31	6	0	0
293:00:00	1.29	1.29	2.46	1.29	147.83	1.29	6.45	0	0
294:00:00	1.31	1.31	2.22	1.31	133.2	1.31	5.82	0	0
295:00:00	1.45	1.45	0.57	1.45	33.95	1.45	1.62	0	0
296:00:00	1.48	1.48	0.27	1.48	16.12	1.47	0.78	0	0

Analysis ended Wed Jun 17 18:14:35 2009



## **ANEXO 3**



Ficheiro do tipo *.inp*:

[TITLE]

R8 - V. Ando.

VRP's reguladas.

[JUNCTIONS]

;ID	Elev	Demand	Pattern
n1	184	0.123	
n2	172.5	0.062	
n3	162	0.146	
n4	158	0.203	
n5	158	0.01	
n6	135	0.159	
n7	154	0.229	
n8	131.5	0.14	
n9	146	0	
n10	148	0	
n11	165	0.024	
n12	165.5	0	
n13	163.5	0.282	
n14	146.5	0.168	
n15	156.5	0.175	
n16	144	0.038	
n17	140.5	0.071	
n18	136.5	0.022	
n19	140.5	0.002	
n20	138	0.173	
n21	154.5	0.112	
n22	144.5	0.085	
n23	139.5	0.02	
n24	152.5	0.099	
n25	142.5	0.11	
n26	134.5	0.075	
n27	137	0.014	
n28	133	0.031	
n29	145.5	0.059	
n30	142	0.069	
n31	143	0.009	
n32	151	0.111	
n33	124.5	0.132	
n34	136	0.157	
n35	135	0.283	
n36	130.5	0.284	
n37	130	0.012	
n38	125.5	0.129	
n39	123	0.163	
n40	120.5	0.056	
n41	121.5	0.165	
n42	119.5	0.037	
n43	116	0.037	
n44	130.5	0.173	
n45	131	0.022	
n46	131	0.16	
n47	131	0.044	

n48	130.5	0.149
n49	130.5	0.123
n50	129	0.132
n51	124.5	0.04
n52	123	0.027
n53	122.5	0.077
n54	124.5	0.043
n55	122.5	0.049
n56	122	0.068
n57	125	0.031
n58	120.5	0.02
n59	117.5	0.116
n60	118.5	0.059
n61	119	0.003
n62	108	0.086
n63	115	0.053
n64	112.5	0.023
n65	101.5	0.053
n66	98	0.037
n67	105	0.02
n68	102	0.045
n69	101	0.02
n70	93	0.02
n71	108	0.088
n72	101	0.036
n73	96.5	0.01
n74	108	0.017
n75	115	0.011
n76	161	0.039
n77	161	0.139
n78	145	0.223
n79	145.5	0.122
n80	148	0.057
n81	138	0.086
n82	142	0.107
n83	144	0.033
n84	144	0.124
n85	150	0.069
n86	144	0.087
n87	136	0.174
n88	135.5	0.094
n89	136.5	0.052
n90	137.5	0.076
n91	136	0.096
n92	131	0.085
n93	128	0.176
n94	118	0.081
n95	134	0.025
n96	129	0.046
n97	132.5	0.074
n98	128	0.086
n99	126	0.14
n100	120.5	0.098
n101	116	0.05
n102	130	0.11

n103	122	0.121
n104	153	0.051
n105	153	0.073
n106	153	0.144
n107	151.5	0.069
n108	138	0.154
n109	137	0.081
n110	137	0.085
n111	137.5	0.077
n112	137.5	0.036
n113	133.5	0.227
n114	131.5	0.143
n115	127.5	0.292
n116	125	0.149
n117	132	0.086
n118	154.5	0.064
n119	172	0.04
n120	155	0.059
n121	155	0.001
n122	154.5	0.041
n123	145	0.057
n124	138	0.03
n125	137	0.044
n126	137	0.022
n127	129.5	0.06
n128	123	0.037
n129	126	0.06
n130	124.5	0.1
n131	125	0.023
n132	128.5	0.105
n133	135	0.08
n134	120	0.282
n135	119	0.384
n136	115	0.189
n137	119	0.071
n138	118	0.035
n139	118	0.133
n140	115.5	0.117
n141	111	0.079
n142	113	0.032
n143	111.5	0.015
n144	110	0.008
n145	111.5	0.001
n146	113	0.132
n147	113	0.126
n148	113	0.012
n149	120	0.122
n150	120	0.019
n151	109	0.046
n152	120	0.131
n153	125	0.164
n154	124.5	0.133
n155	124.5	0.076
n156	120	0.039
n157	121	0.117

n158	116.5	0.225
n159	120	0.075
n160	113	0.069
n161	118	0.126
n162	117	0.051
n163	121.5	0.105
n164	125.5	0.24
n165	125	0.111
n166	121.5	0.07
n167	123	0.007
n168	124	0.203
n169	125	0.084
n170	122	0.176
n171	121	0.106
n172	121	0.073
n173	119	0.072
n174	114.5	0.042
n175	120.5	0.041
n176	120.5	0.079
n177	122.5	0.049
n178	120.5	0.079
n179	118.5	0.017
n180	120	0.033
n181	117.5	0.228
n182	117.5	0.016
n183	115	0.113
n184	125	0.115
n185	129.5	0.033
n186	147.5	0.136
n187	153	0.06
n188	134	0.026
n189	122.4	0.061
n190	153	0.001
n191	138	0
n192	126	0
n193	132	0
n194	125	0
na1	165	0.047
na2	145	0.024
na3	123	0.044
na4	145.5	0.011
na5	161	0.123
na6	162	0.062
na7	137.5	0.025
na8	138	0.011
na9	124.5	0.154
na10	124.5	0.031
na11	154	0.01
na12	135	0.034
nh1	156	0

[RESERVOIRS]

;ID	Head	Pattern
RNF1	198.75	

## [TANKS]

;ID	Elevation	InitLevel	MinLevel	MaxLevel	Diameter	MinVol	VolCurve
-----	-----------	-----------	----------	----------	----------	--------	----------

## [PIPES]

;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status
t1	RNF1	n1	140.5	369.4	0.04	0	Open
t2	n1	n2	188.88	256.6	0.04	0	Open
t3	n2	na6	281.73	256.6	0.04	0	Open
t4	n3	n4	154.79	230.8	0.04	0	Open
t5	n3	n5	139.95	83	0.04	0	Open
t6	n4	n6	180.27	207.8	0.04	0	Open
t7	n4	na11	68.23	83	0.04	0	Open
t8	n7	n8	255.26	83	0.04	0	Open
t9	na12	n8	231.9	83	0.04	0	Open
t10	n6	n9	216.99	207.8	0.04	0	Open ;
t11	n9	n10	23.74	83	0.04	0	Open ;
t12	n9	n11	554.4	207.8	0.04	0	Open ;
t13	n11	n12	16.43	83	0.04	0	Open ;
t14	n11	n13	36.24	101.6	0.04	0	Open ;
t15	n13	n14	191.13	83	0.04	0	Open ;
t16	n13	n15	204.74	83	0.04	0	Open ;
t17	n15	n16	128.18	83	0.04	0	Open ;
t18	n15	n17	322.07	83	0.04	0	Open ;
t19	n17	n19	14.54	83	0.04	0	Open ;
t20	n17	n18	147.6	83	0.04	0	Open ;
t21	na1	n21	106.94	184.6	0.04	0	Open ;
t22	n21	n32	78.67	83	0.04	0	Open ;
t23	n22	n23	136.68	83	0.04	0	Open ;
t24	n21	n24	59.38	184.6	0.04	0	Open ;
t25	n22	n25	37.72	83	0.04	0	Open ;
t26	n24	n25	171.21	83	0.04	0	Open ;
t27	n25	n26	200.34	83	0.04	0	Open ;
t28	n26	n28	106.02	83	0.04	0	Open ;
t29	n26	n27	48.93	83	0.04	0	Open ;
t30	n24	na4	143.51	166.2	0.04	0	Open ;

t31	n29	n30	78.78	166.2	0.04	0	Open ;
t32	n30	n31	62.34	83	0.04	0	Open ;
t33	n32	n22	89.73	83	0.04	0	Open ;
t34	n29	n20	142.53	83	0.04	0	Open ;
t35	n20	n33	299.25	83	0.04	0	Open ;
t36	n30	n34	146.07	166.2	0.04	0	Open ;
t37	n34	n35	25.62	101.6	0.04	0	Open ;
t38	n35	n36	177.87	83	0.04	0	Open ;
t39	n35	n36	130.9	83	0.04	0	Open ;
t40	n36	n37	13.72	83	0.04	0	Open ;
t41	n34	n38	310.74	129.2	0.04	0	Open ;
t42	n38	n39	36.24	83	0.04	0	Open ;
t43	n39	n40	75.9	83	0.04	0	Open ;
t44	n39	n41	138.55	83	0.04	0	Open ;
t45	n41	n42	73.07	83	0.04	0	Open ;
t46	n41	n43	83.07	83	0.04	0	Open ;
t47	n38	n44	72.49	101.6	0.04	0	Open ;
t48	n44	n45	42.06	83	0.04	0	Open ;
t49	n44	n46	66.46	83	0.04	0	Open ;
t50	n46	n47	49.84	83	0.04	0	Open ;
t51	n46	n49	65.13	83	0.04	0	Open ;
t52	n44	n48	125.02	83	0.04	0	Open ;
t53	n49	n50	74.36	83	0.04	0	Open ;
t54	n48	n50	75.95	83	0.04	0	Open ;
t55	n7	na9	350.31	83	0.04	0	Open ;
t56	n51	n52	61.85	83	0.04	0	Open ;
t57	n51	n53	29.85	83	0.04	0	Open ;
t58	n8	na10	105.19	83	0.04	0	Open ;
t59	n54	n55	57.46	83	0.04	0	Open ;
t60	n55	n53	14.6	101.6	0.04	0	Open ;
t61	n54	n56	26.64	83	0.04	0	Open ;
t62	n56	n58	22.21	83	0.04	0	Open ;
t63	n56	n57	60.47	83	0.04	0	Open ;
t64	n91	n97	88.66	101.6	0.04	0	Open ;
t65	n97	n98	95.91	101.6	0.04	0	Open ;
t66	n55	n60	39.79	83	0.04	0	Open ;
t67	n60	n61	11.97	83	0.04	0	Open ;
t68	n53	n59	87.08	115.4	0.04	0	Open ;
t69	n60	n62	134.01	83	0.04	0	Open ;
t70	n62	n63	103.08	83	0.04	0	Open ;
t71	n63	n64	77.3	83	0.04	0	Open ;
t72	n62	n65	109.14	83	0.04	0	Open ;
t73	n65	n66	507.14	83	0.04	0	Open ;
t74	n59	n67	98.55	83	0.04	0	Open ;
t75	n67	n68	37.3	83	0.04	0	Open ;
t76	n68	n69	66.93	83	0.04	0	Open ;
t77	n68	n70	135.45	83	0.04	0	Open ;
t78	n59	n71	109.46	115.4	0.04	0	Open ;
t79	n71	n72	120.55	83	0.04	0	Open ;
t80	n72	n73	67.25	83	0.04	0	Open ;
t81	n71	n74	238.49	129.2	0.04	0	Open ;
t82	n74	n75	131.78	129.2	0.04	0	Open ;
t83	n1	na5	560.65	327.8	0.04	0	Open ;
t84	n76	n77	9.19	230.8	0.04	0	Open ;
t85	n77	n78	147.16	166.2	0.04	0	Open ;



t86	n79	na2	55.07	83	0.04	0	Open	;
t87	n79	n80	154.18	83	0.04	0	Open	;
t88	n81	n79	139.94	83	0.04	0	Open	;
t89	n81	n82	68.46	83	0.04	0	Open	;
t90	n82	n84	66.82	83	0.04	0	Open	;
t91	n84	n85	157.51	83	0.04	0	Open	;
t92	n82	n83	74	83	0.04	0	Open	;
t93	n84	n86	56.83	101.6	0.04	0	Open	;
t94	n86	n87	63.5	83	0.04	0	Open	;
t95	n87	n88	142.62	83	0.04	0	Open	;
t96	n87	n89	128.49	83	0.04	0	Open	;
t97	n186	n3	154.39	129.2	0.04	0	Open	;
t98	n78	na7	83.99	166.2	0.04	0	Open	;
t99	n90	n91	52.88	147.6	0.04	0	Open	;
t100	n91	n92	119.61	115.4	0.04	0	Open	;
t101	n92	n93	57.55	115.4	0.04	0	Open	;
t102	n93	n94	175.32	101.6	0.04	0	Open	;
t103	n94	n75	52.58	101.6	0.04	0	Open	;
t104	n92	n95	168.01	83	0.04	0	Open	;
t105	n93	n96	155.38	83	0.04	0	Open	;
t106	n93	n98	96.81	83	0.04	0	Open	;
t107	n98	n99	66.06	83	0.04	0	Open	;
t108	n99	n100	137.91	101.6	0.04	0	Open	;
t109	n100	n75	102.06	101.6	0.04	0	Open	;
t110	n100	n101	96.99	83	0.04	0	Open	;
t111	n90	n102	116.98	101.6	0.04	0	Open	;
t112	n102	n103	98.14	101.6	0.04	0	Open	;
t113	n103	n99	160.08	83	0.04	0	Open	;
t114	n76	n104	167.09	207.8	0.04	0	Open	;
t115	n77	n105	163.3	184.6	0.04	0	Open	;
t116	n104	n190	4.48	166.2	0.04	0	Open	;
t117	n105	n106	10.27	101.6	0.04	0	Open	;
t118	n106	n78	202.58	83	0.04	0	Open	;
t119	n104	n107	32.67	101.6	0.04	0	Open	;
t120	n107	n106	41.82	101.6	0.04	0	Open	;
t121	n107	n108	142.92	129.2	0.04	0	Open	;
t122	n108	n109	157.37	83	0.04	0	Open	;
t123	n108	n110	31.04	115.4	0.04	0	Open	;
t124	n110	n111	46.83	83	0.04	0	Open	;
t125	n111	n112	41.21	83	0.04	0	Open	;
t126	n112	n111	41.16	83	0.04	0	Open	;
t127	n110	n113	41.96	115.4	0.04	0	Open	;
t128	n113	n114	162.36	83	0.04	0	Open	;
t129	n113	n115	64.14	101.6	0.04	0	Open	;
t130	n115	n116	169.27	83	0.04	0	Open	;
t131	n115	n117	130.85	83	0.04	0	Open	;
t132	n104	n118	80.08	230.8	0.04	0	Open	;
t133	n118	n120	82.61	230.8	0.04	0	Open	;
t134	n120	n121	10.72	83	0.04	0	Open	;
t135	n118	n119	137.39	83	0.04	0	Open	;
t136	n120	n187	315.34	230.8	0.04	0	Open	;
t137	n122	n123	61.02	230.8	0.04	0	Open	;
t138	n123	n124	68.68	230.8	0.04	0	Open	;
t139	na8	n125	25.88	230.8	0.04	0	Open	;
t140	n125	n126	76.64	83	0.04	0	Open	;

t141	n188	n127	106.38	230.8	0.04	0	Open	;
t142	n127	na3	86.43	230.8	0.04	0	Open	;
t143	n185	n129	113	83	0.04	0	Open	;
t144	n129	n130	23.28	83	0.04	0	Open	;
t145	n130	n131	45.33	166.2	0.04	0	Open	;
t146	n131	n128	54.33	207.8	0.04	0	Open	;
t147	n129	n132	113.03	83	0.04	0	Open	;
t148	n132	n133	109.07	83	0.04	0	Open	;
t149	n130	n134	200.97	147.6	0.04	0	Open	;
t150	n134	n135	439.68	147.6	0.04	0	Open	;
t151	n135	n136	430.59	83	0.04	0	Open	;
t152	n135	n137	12.93	115.4	0.04	0	Open	;
t153	n137	n138	79.31	83	0.04	0	Open	;
t154	n137	n139	161.98	115.4	0.04	0	Open	;
t155	n139	n140	61.23	83	0.04	0	Open	;
t156	n140	n141	180.59	83	0.04	0	Open	;
t157	n140	n142	37.25	83	0.04	0	Open	;
t158	n142	n143	44.2	83	0.04	0	Open	;
t159	n143	n145	10.42	83	0.04	0	Open	;
t160	n143	n144	34.61	83	0.04	0	Open	;
t161	n142	n146	66.82	83	0.04	0	Open	;
t162	n146	n151	103.58	83	0.04	0	Open	;
t163	n146	n147	163.66	83	0.04	0	Open	;
t164	n147	n148	26.28	83	0.04	0	Open	;
t165	n147	n149	64.48	83	0.04	0	Open	;
t166	n139	n152	107.4	83	0.04	0	Open	;
t167	n152	n149	137.67	83	0.04	0	Open	;
t168	n149	n150	44.03	83	0.04	0	Open	;
t169	n131	n153	15.65	166.2	0.04	0	Open	;
t170	n153	n154	41.98	115.4	0.04	0	Open	;
t171	n154	n155	7.79	101.6	0.04	0	Open	;
t172	n155	n156	177.99	83	0.04	0	Open	;
t173	n155	n189	41.05	101.6	0.04	0	Open	;
t174	n157	n158	105.17	101.6	0.04	0	Open	;
t175	n158	n160	128.98	83	0.04	0	Open	;
t176	n158	n159	85.59	83	0.04	0	Open	;
t177	n160	n161	85.46	83	0.04	0	Open	;
t178	n161	n162	69.27	83	0.04	0	Open	;
t179	n154	n163	158.66	83	0.04	0	Open	;
t180	n153	n164	102.65	129.2	0.04	0	Open	;
t181	n164	n165	77.93	83	0.04	0	Open	;
t182	n165	n167	14.93	83	0.04	0	Open	;
t183	n165	n166	79.27	83	0.04	0	Open	;
t184	n164	n168	105.97	101.6	0.04	0	Open	;
t185	n168	n169	114.65	83	0.04	0	Open	;
t186	n161	n170	95.38	83	0.04	0	Open	;
t187	n168	n170	56.18	83	0.04	0	Open	;
t188	n170	n171	72.3	83	0.04	0	Open	;
t189	n171	n172	64.97	83	0.04	0	Open	;
t190	n172	n173	206.69	83	0.04	0	Open	;
t191	n173	n174	143.04	83	0.04	0	Open	;
t192	n128	n175	113.3	101.6	0.04	0	Open	;
t193	n175	n176	15.82	83	0.04	0	Open	;
t194	n176	n177	74.28	83	0.04	0	Open	;
t195	n176	n178	44.31	83	0.04	0	Open	;

t196	n178	n179	76.26	83	0.04	0	Open	;
t197	n178	n180	50.63	83	0.04	0	Open	;
t198	n175	n182	209.59	83	0.04	0	Open	;
t199	n182	n181	12.47	83	0.04	0	Open	;
t200	n181	n183	170.99	83	0.04	0	Open	;
t201	n181	n184	260.62	83	0.04	0	Open	;
t202	n186	n86	76.69	115.4	0.04	0	Open	;
t203	n187	n122	63.52	230.8	0.04	0	Open	;
t204	n125	n188	35.55	230.8	0.04	0	Open	;
t205	n189	n157	28.25	101.6	0.04	0	Open	;
t206	n190	n105	5	166.2	0.04	0	Open	;
t207	n190	n191	176.45	83	0.04	0	Open	;
t208	n191	n192	168.7	83	0.04	0	Open	;
t209	n192	n193	100.69	83	0.04	0	Open	;
t210	n193	n194	120.12	83	0.04	0	Open	;
th1	n21	nh1	3	150	0.04	0	Open	;

## [PUMPS]

;ID	Node1	Node2	Parameters
-----	-------	-------	------------

## [VALVES]

;ID	Node1	Node2	Diameter	TypeSetting	MinorLoss
vs1	n127	n185	200	TCV 0	0 ;
vs2	n194	n184	200	TCV 0	0 ;
vrp6	na3	n128	225	PRV 26	0 ;
vrp1	n11	na1	175	PRV 26.01	0 ;
vrp2	na4	n29	150	PRV 26.01	0 ;
vrp3	na5	n76	275	PRV 27	0 ;
vrp4	na6	n3	250	PRV 33	0 ;
vrp5	na7	n90	125	PRV 26.01	0 ;
vrp7	n124	na8	225	PRV 26.01	0 ;
vrp8	na9	n51	100	PRV 26.01	0 ;
vrp9	na10	n54	100	PRV 26.01	0 ;
vrp10	na11	n7	75	PRV 26.01	0 ;
vrp11	n6	na12	75	PRV 26.01	0 ;
vrp12	na2	n78	250	PRV 26.01	0 ;

## [TAGS]

## [DEMANDS]

;Junction	Demand	Pattern	Category
-----------	--------	---------	----------

## [STATUS]

;ID	Status/Setting
vs1	Closed
vs2	Closed
vrp6	Open

## [PATTERNS]

;ID	Multipliers
;Caudal - Factor horário (só do consumo doméstico; dia útil)	
fh_du_domestico 0.454	0.241 0.173 0.143 0.173 0.241
fh_du_domestico 0.762	1.46 1.305 1.181 1.384 1.427
fh_du_domestico 1.453	1.471 1.243 1.033 1.033 1.033
fh_du_domestico 1.272	1.481 1.497 1.417 1.188 0.935

[CURVES]		
;ID	X-Value	Y-
Value		
[CONTROLS]		
[RULES]		
[ENERGY]		
Global Efficiency	75	
Global Price	0	
Demand Charge	0	
[EMITTERS]		
;Junction	Coefficient	
n1	0.000926729	
n2	0.000490015	
n3	0.000467649	
n4	0.000419919	
n5	0.000145721	
n6	0.00041364	
n7	0.000630539	
n8	0.000616774	
n9	0.000827916	
n10	2.47E-05	
n11	0.000632101	
n12	1.71E-05	
n13	0.000449927	
n14	0.000199011	
n15	0.000681997	
n16	0.000133465	
n17	0.000504175	
n18	0.000153686	
n19	1.51E-05	
n20	0.000459996	
n21	0.000255092	
n22	0.000275021	
n23	0.000142316	
n24	0.000389525	
n25	0.000426145	
n26	0.00036994	
n27	5.09E-05	
n28	0.000110392	
n29	0.000230435	
n30	0.000299032	
n31	6.49E-05	
n32	0.000175344	
n33	0.000311589	
n34	0.000502322	
n35	0.000348178	
n36	0.000335787	
n37	1.43E-05	
n38	0.000436766	
n39	0.000261027	

n40	7.90E-05
n41	0.000306841
n42	7.61E-05
n43	8.65E-05
n44	0.000318649
n45	4.38E-05
n46	0.000188911
n47	5.19E-05
n48	0.000209257
n49	0.000145242
n50	0.000156508
n51	9.55E-05
n52	6.44E-05
n53	0.000136953
n54	8.76E-05
n55	0.000116462
n56	0.000113828
n57	6.30E-05
n58	2.31E-05
n59	0.000307257
n60	0.00019343
n61	1.25E-05
n62	0.000360506
n63	0.000187818
n64	8.05E-05
n65	0.000641691
n66	0.000528051
n67	0.000141452
n68	0.000249563
n69	6.97E-05
n70	0.000141035
n71	0.000487818
n72	0.000195544
n73	7.00E-05
n74	0.000385537
n75	0.00029823
n76	0.000183549
n77	0.00033283
n78	0.000451614
n79	0.000363588
n80	0.000160537
n81	0.000216993
n82	0.000217909
n83	7.71E-05
n84	0.000292753
n85	0.000164005
n86	0.000205144
n87	0.000348407
n88	0.000148501
n89	0.000133788
n90	0.000176864
n91	0.000271918
n92	0.000359402
n93	0.00050506
n94	0.000237297

n95	0.000174938
n96	0.000161787
n97	0.00019218
n98	0.00026945
n99	0.000379061
n100	0.000350854
n101	1.01E-04
n102	0.00022399
n103	0.000268867
n104	0.000296043
n105	0.000185392
n106	0.000265171
n107	0.000226374
n108	0.000344992
n109	0.000163859
n110	0.000124771
n111	0.000134527
n112	8.58E-05
n113	0.000279529
n114	0.000169055
n115	0.00037928
n116	0.00017625
n117	0.000136245
n118	0.000312453
n119	0.000143055
n120	0.000425521
n121	1.12E-05
n122	0.000129675
n123	0.000135048
n124	7.15E-05
n125	0.000143763
n126	7.98E-05
n127	0.00020076
n128	0.000174542
n129	0.00025959
n130	0.000280696
n131	0.000120065
n132	0.000231258
n133	0.000113567
n134	0.000667066
n135	0.000919617
n136	0.000448345
n137	0.000264702
n138	8.26E-05
n139	0.000344242
n140	0.000290577
n141	0.000188036
n142	0.000154384
n143	9.29E-05
n144	3.60E-05
n145	1.08E-05
n146	0.000347834
n147	0.00026491
n148	2.74E-05
n149	0.000256331

n150	4.58E-05
n151	0.000107851
n152	0.000255175
n153	0.000166889
n154	0.000217024
n155	0.000236183
n156	0.000185329
n157	0.000138921
n158	0.000332924
n159	8.91E-05
n160	0.000223282
n161	0.000260423
n162	7.21E-05
n163	0.000165202
n164	0.000298365
n165	0.000179227
n166	8.25E-05
n167	1.55E-05
n168	0.000288213
n169	0.000119377
n170	0.00023309
n171	0.00014293
n172	0.000282861
n173	0.00036415
n174	0.000148938
n175	0.000352676
n176	0.000139952
n177	7.73E-05
n178	0.000178259
n179	7.94E-05
n180	5.27E-05
n181	0.000462391
n182	0.000231216
n183	0.00017804
n184	0.000271366
n185	0.000117659
n186	0.000240608
n187	0.000394482
n188	0.000147782
n189	7.22E-05
n190	0.000193596
n191	0.000359382
n192	0.000280498
n193	0.000229915
n194	0.000125073
na1	0.000111349
na2	5.73E-05
na3	9.00E-05
na4	0.000149427
na5	0.000583767
na6	0.000293347
na7	8.75E-05
na8	2.69E-05
na9	0.000364754
na10	0.000109527

na11	7.10E-05
na12	0.000241462
nh1	0

[QUALITY]

;Node	InitQual
n1	0.87
n2	0.8
n3	0.72
n4	0.67
n5	0.51
n6	0.62
n7	0.61
n8	0.38
n9	0.56
n10	3.40E-01
n11	0.43
n12	1.90E-01
n13	0.42
n14	0.35
n15	0.3
n16	0.26
n17	0.24
n18	0.19
n19	2.10E-01
n20	0.29
n21	0.41
n22	0.3
n23	0.23
n24	0.4
n25	0.29
n26	0.24
n27	1.40E-01
n28	0.16
n29	0.37
n30	0.35
n31	2.50E-01
n32	0.35
n33	0.24
n34	0.32
n35	0.31
n36	0.3
n37	2.20E-01
n38	0.25
n39	0.24
n40	2.30E-01
n41	0.19
n42	1.60E-01
n43	1.60E-01
n44	0.23
n45	2.10E-01
n46	0.21
n47	2.00E-01
n48	0.19
n49	0.2



n50	0.18
n51	2.10E-01
n52	1.90E-01
n53	0.21
n54	2.10E-01
n55	0.2
n56	0.2
n57	1.60E-01
n58	1.70E-01
n59	0.24
n60	0.2
n61	1.60E-01
n62	0.16
n63	0.15
n64	1.20E-01
n65	0.14
n66	0.09
n67	0.23
n68	0.22
n69	1.60E-01
n70	0.14
n71	0.26
n72	0.26
n73	1.80E-01
n74	0.31
n75	0.35
n76	0.73
n77	0.72
n78	0.65
n79	0.33
n80	0.32
n81	0.43
n82	0.48
n83	4.70E-01
n84	0.54
n85	0.5
n86	0.58
n87	0.52
n88	0.5
n89	0.49
n90	0.62
n91	0.59
n92	0.53
n93	0.5
n94	0.41
n95	0.4
n96	0.44
n97	0.53
n98	0.47
n99	0.4
n100	0.34
n101	3.20E-01
n102	0.53
n103	0.47
n104	0.66

n105	0.65
n106	0.63
n107	0.62
n108	0.54
n109	0.5
n110	0.52
n111	0.5
n112	4.60E-01
n113	0.5
n114	0.47
n115	0.46
n116	0.43
n117	0.43
n118	0.64
n119	0.55
n120	0.62
n121	4.40E-01
n122	0.53
n123	0.52
n124	5.10E-01
n125	0.5
n126	4.20E-01
n127	0.47
n128	0.45
n129	0.42
n130	0.43
n131	0.45
n132	0.41
n133	0.3
n134	0.38
n135	0.27
n136	0.11
n137	0.26
n138	2.40E-01
n139	0.22
n140	0.2
n141	0.2
n142	0.19
n143	1.90E-01
n144	1.30E-01
n145	1.40E-01
n146	0.17
n147	0.14
n148	1.30E-01
n149	0.14
n150	1.30E-01
n151	0.16
n152	0.19
n153	0.43
n154	0.42
n155	0.4
n156	0.32
n157	0.37
n158	0.32
n159	3.10E-01

n160	0.25
n161	0.21
n162	1.90E-01
n163	0.4
n164	0.4
n165	0.38
n166	3.20E-01
n167	3.00E-01
n168	0.35
n169	0.33
n170	0.32
n171	0.28
n172	0.24
n173	0.24
n174	0.13
n175	0.4
n176	0.39
n177	3.70E-01
n178	0.38
n179	2.90E-01
n180	3.30E-01
n181	0.28
n182	0.29
n183	0.26
n184	0.25
n185	0.35
n186	0.62
n187	0.54
n188	0.49
n189	3.80E-01
n190	0.64
n191	0.58
n192	0.47
n193	0.41
n194	0.22
na1	0.43
na2	3.30E-01
na3	4.60E-01
na4	0.37
na5	0.73
na6	0.72
na7	6.20E-01
na8	5.10E-01
na9	0.38
na10	0.34
na11	6.10E-01
na12	0.29
nh1	0
RNF1	0.9

[SOURCES]

;Node

Type  
Pattern

Quality

[REACTIONS]

;Type	Pipe/Tank	
	Coefficient	
[REACTIONS]		
Order Bulk	1	
Order Tank	1	
Order Wall	1	
Global Bulk	-0.45	
Global Wall	-0.75	
Limiting Potential	0	
Roughness Correlation	0	
[MIXING]		
;Tank	Model	
[TIMES]		
Duration	72:00	
Hydraulic Timestep 0:30		
Quality Timestep	0:05	
Pattern Timestep 1:00		
Pattern Start	0:00	
Report Timestep 1:00		
Report Start	0:00	
Start ClockTime	12:00 AM	
Statistic	NONE	
[REPORT]		
Status	Full	
Summary	No	
Page	0	
[OPTIONS]		
Units	LPS	
Headloss	D-W	
Specific Gravity	1	
Viscosity	1.31	
Trials	40	
Accuracy	0.001	
Unbalanced	Continue 10	
Pattern	fh_du_domestico	
Demand Multiplier 1		
Emitter Exponent 1.18		
Quality	Cloro mg/L	
Diffusivity	1	
Tolerance	0.01	
[COORDINATES]		
;Node	X-Coord	Y-
Coord		
n1	1827.83	1927.47
n2	2016.38	1925.04
n3	2292.33	1868.39
n4	2445.40	1891.39
n5	2364.98	1748.78
n6	2554.84	1779.46

n7	2513.39	1897.19
n8	2766.26	1869.83
n9	2398.97	1628.56
n10	2394.00	1651.78
n11	1947.95	1351.65
n12	1935.03	1361.80
n13	1921.72	1326.63
n14	1949.29	1146.98
n15	1801.96	1166.94
n16	1877.05	1066.18
n17	1628.01	952.12
n18	1767.74	983.49
n19	1625.16	937.86
n20	2322.43	1122.63
n21	2046.99	1312.86
n22	1993.85	1153.19
n23	1940.07	1027.75
n24	2102.54	1291.90
n25	2028.97	1139.42
n26	2205.26	1061.29
n27	2246.14	1085.40
n28	2278.64	1021.46
n29	2232.52	1231.10
n30	2305.89	1202.80
n31	2329.21	1260.61
n32	2023.46	1237.89
n33	2535.45	921.48
n34	2441.40	1148.40
n35	2433.72	1123.96
n36	2472.83	1040.84
n37	2469.34	1027.57
n38	2729.97	1033.90
n39	2762.09	1017.14
n40	2829.84	982.91
n41	2674.09	910.28
n42	2618.22	863.48
n43	2744.63	866.97
n44	2721.37	1105.88
n45	2679.75	1099.84
n46	2711.98	1171.67
n47	2666.33	1158.24
n48	2769.04	1183.75
n49	2702.58	1236.11
n50	2758.30	1258.94
n51	2829.30	2003.84
n52	2863.00	2040.85
n53	2859.03	2006.48
n54	2844.50	1937.76
n55	2860.36	1991.95
n56	2867.62	1924.54
n57	2833.26	1874.98
n58	2886.79	1913.31
n59	2924.44	2045.69
n60	2900.00	1995.25
n61	2903.32	2006.75

n62	2935.72	1868.63
n63	2893.54	1775.42
n64	2855.53	1708.24
n65	2974.26	1771.77
n66	3144.02	1316.12
n67	2987.12	1980.41
n68	3011.76	1952.40
n69	3008.96	1893.60
n70	3142.26	1949.60
n71	2923.83	2155.15
n72	3039.76	2122.10
n73	3105.85	2110.34
n74	2767.57	2308.61
n75	2685.24	2408.30
n76	2021.34	2408.35
n77	2030.04	2411.33
n78	2171.13	2407.45
n79	2152.92	2355.51
n80	2031.49	2277.92
n81	2156.82	2216.18
n82	2144.72	2149.08
n83	2151.32	2075.38
n84	2121.62	2086.38
n85	2167.82	1993.97
n86	2166.72	2052.27
n87	2206.32	2101.78
n88	2228.32	2242.58
n89	2321.82	2047.87
n90	2255.12	2407.44
n91	2307.99	2406.05
n92	2426.24	2388.66
n93	2483.28	2381.01
n94	2647.43	2371.97
n95	2349.72	2242.59
n96	2432.50	2261.37
n97	2383.56	2448.15
n98	2475.38	2474.57
n99	2489.22	2538.09
n100	2606.83	2472.68
n101	2660.92	2553.18
n102	2305.57	2512.93
n103	2343.31	2603.50
n104	2036.28	2573.97
n105	2045.67	2572.63
n106	2055.94	2572.63
n107	2038.07	2606.59
n108	2035.84	2749.14
n109	1879.44	2731.71
n110	2032.26	2779.97
n111	2078.73	2785.78
n112	2097.50	2787.12
n113	2026.45	2821.53
n114	1865.14	2803.20
n115	2017.07	2884.98
n116	1849.05	2864.87

n117	2109.12	2866.66
n118	1956.74	2582.91
n119	1839.22	2565.48
n120	1876.31	2601.68
n121	1876.31	2612.40
n122	1525.25	2715.00
n123	1536.70	2773.31
n124	1573.76	2808.87
n125	1560.73	2830.91
n126	1493.62	2834.41
n127	1579.77	2933.07
n128	1586.78	3019.21
n129	1495.13	3006.19
n130	1487.61	3028.23
n131	1532.69	3024.22
n132	1405.98	2938.08
n133	1319.34	2871.97
n134	1319.84	3132.90
n135	993.92	3428.01
n136	669.53	3703.08
n137	1001.59	3438.42
n138	945.00	3493.99
n139	1120.44	3339.12
n140	1168.80	3376.68
n141	1050.98	3513.54
n142	1200.19	3396.75
n143	1234.14	3425.04
n144	1208.42	3448.20
n145	1242.89	3430.70
n146	1241.35	3344.78
n147	1344.25	3221.30
n148	1364.31	3204.32
n149	1301.03	3173.45
n150	1332.93	3143.10
n151	1333.44	3318.03
n152	1199.16	3266.06
n153	1535.13	3039.68
n154	1493.97	3046.37
n155	1486.25	3047.40
n156	1336.02	3128.69
n157	1463.61	3112.23
n158	1444.57	3194.55
n159	1416.28	3113.77
n160	1434.80	3298.99
n161	1519.18	3285.61
n162	1493.45	3221.30
n163	1552.62	3168.82
n164	1596.35	3122.00
n165	1590.18	3044.31
n166	1667.87	3032.48
n167	1590.69	3029.39
n168	1598.41	3227.48
n169	1667.87	3158.53
n170	1613.84	3281.50
n171	1633.91	3350.96

n172	1658.03	3292.94
n173	1802.21	3155.72
n174	1881.88	3038.74
n175	1699.77	3010.91
n176	1699.14	2995.11
n177	1689.65	2921.75
n178	1722.53	2974.87
n179	1798.41	2967.28
n180	1758.58	2943.25
n181	1914.76	3002.06
n182	1908.44	2991.31
n183	2009.61	3144.34
n184	2172.13	2971.08
n185	1575.47	2933.98
n186	2223.97	2001.24
n187	1575.75	2680.89
n188	1576.00	2861.69
n189	1471.82	3085.20
n190	2040.73	2573.42
n191	2039.48	2749.59
n192	2016.37	2916.70
n193	2103.97	2867.21
n194	2170.90	2966.59
na1	1966.10	1340.41
na2	2166.54	2392.85
na3	1586.17	3010.86
na4	2208.59	1242.65
na5	1992.36	2395.39
na6	2238.73	1877.98
na7	2235.89	2407.59
na8	1568.57	2815.29
na9	2809.52	2001.71
na10	2833.19	1920.31
na11	2494.67	1901.91
na12	2580.45	1789.25
nh1	2053.23	1301.48
RNF1	1731.17	1973.20

[VERTICES]

;Link Coord	X-Coord	Y-
t1	1733.96	1926.66
t1	1765.52	1926.66
t2	1978.35	1929.90
t3	2131.99	1897.58
t3	2226.80	1880.06
t6	2493.49	1788.58
t6	2503.44	1778.63
t6	2514.22	1774.48
t6	2537.43	1779.46
t8	2555.67	1897.19
t8	2609.56	1895.53
t8	2645.21	1892.22
t8	2689.99	1886.41
t8	2733.10	1875.63



t9	2610.39	1798.53
t9	2643.56	1810.14
t9	2680.87	1821.74
t9	2712.37	1834.18
t9	2739.73	1848.27
t9	2753.00	1857.39
t10	2510.90	1736.35
t10	2476.91	1705.67
t10	2444.57	1672.51
t12	2381.78	1612.74
t12	2358.01	1593.73
t12	2337.10	1582.32
t12	2297.18	1571.86
t12	2261.06	1569.01
t12	2215.43	1569.01
t12	2185.02	1565.21
t12	2158.40	1556.65
t12	2136.54	1545.25
t12	2110.88	1518.63
t12	2086.16	1495.82
t12	2053.85	1464.45
t12	2027.23	1434.99
t12	1999.67	1405.52
t12	1973.05	1377.96
t15	1938.83	1306.67
t15	1951.19	1293.36
t15	1954.04	1261.99
t15	1954.04	1233.48
t15	1953.09	1205.91
t15	1950.24	1177.39
t16	1894.16	1302.86
t16	1864.69	1276.25
t16	1834.27	1230.62
t16	1808.61	1194.50
t16	1801.01	1180.25
t17	1814.31	1158.38
t17	1825.72	1150.78
t17	1831.42	1146.03
t17	1842.83	1127.02
t17	1855.19	1107.06
t17	1866.59	1087.09
t18	1794.35	1144.13
t18	1779.45	1123.85
t18	1757.13	1102.78
t18	1738.54	1085.42
t18	1713.74	1077.98
t18	1683.37	1076.74
t18	1659.20	1074.88
t18	1639.98	1065.59
t18	1629.44	1023.44
t18	1626.96	983.77
t20	1635.64	948.44
t20	1643.70	949.68
t20	1659.82	957.73
t20	1677.79	965.17

t20	1700.73	975.71
t20	1719.32	982.53
t20	1733.58	982.53
t20	1753.41	983.77
t21	1964.93	1340.50
t21	1982.83	1334.99
t21	2002.12	1328.79
t21	2021.40	1321.21
t22	2041.37	1288.85
t22	2031.73	1261.30
t23	1981.46	1118.07
t23	1964.24	1076.06
t23	1950.47	1049.90
t26	2097.83	1279.21
t26	2093.01	1270.26
t26	2078.55	1254.42
t26	2068.91	1243.40
t26	2062.03	1226.18
t26	2055.14	1205.52
t26	2046.88	1184.18
t26	2037.92	1161.45
t27	2062.03	1129.78
t27	2076.49	1122.89
t27	2086.13	1118.07
t27	2110.92	1103.61
t27	2141.91	1085.70
t27	2166.01	1071.24
t27	2190.11	1058.85
t27	2197.00	1054.03
t28	2232.12	1031.99
t28	2251.40	1049.90
t28	2274.12	1023.04
t29	2216.97	1074.00
t29	2230.05	1081.57
t30	2180.47	1256.48
t31	2251.40	1222.05
t31	2285.14	1208.97
t34	2234.43	1221.11
t34	2252.59	1196.67
t34	2286.11	1157.55
t34	2307.76	1137.30
t35	2497.04	958.50
t35	2522.88	932.66
t36	2335.24	1189.61
t36	2368.07	1177.04
t36	2405.78	1163.07
t38	2405.03	1132.81
t38	2388.36	1098.05
t38	2421.13	1082.23
t38	2420.28	1068.95
t39	2432.43	1118.68
t39	2494.31	1096.64
t41	2503.67	1125.39
t41	2571.42	1100.95
t41	2624.50	1081.39

t41	2668.50	1063.93
t41	2692.95	1052.76
t44	2743.93	991.29
t44	2711.11	953.58
t45	2647.55	891.42
t46	2702.73	896.31
t46	2723.68	880.24
t50	2708.62	1165.62
t52	2779.11	1118.63
t53	2700.56	1252.22
t55	2509.46	1910.66
t55	2561.66	1925.86
t55	2640.30	1952.96
t55	2689.86	1974.10
t55	2724.22	1990.62
t55	2742.73	1997.89
t55	2765.86	1998.55
t55	2794.27	1999.88
t56	2837.89	2039.53
t58	2788.32	1882.91
t58	2816.74	1903.39
t58	2828.64	1913.97
t59	2857.71	1966.17
t59	2860.36	1976.09
t63	2847.80	1892.16
t64	2312.49	2415.45
t64	2349.60	2431.80
t65	2403.69	2457.58
t65	2431.99	2464.50
t68	2882.70	2007.77
t68	2898.73	2009.80
t68	2908.15	2015.15
t68	2918.08	2025.33
t68	2924.18	2034.75
t69	2909.16	1975.91
t69	2919.58	1957.16
t69	2922.18	1942.58
t69	2923.74	1923.31
t69	2926.35	1905.08
t69	2933.12	1894.67
t69	2935.20	1878.53
t70	2926.85	1853.33
t70	2917.53	1818.59
t70	2903.97	1792.32
t71	2884.49	1757.59
t71	2870.93	1731.32
t72	2942.10	1863.50
t72	2953.96	1843.16
t72	2965.83	1820.28
t72	2976.84	1801.64
t72	2975.99	1788.09
t73	2967.52	1735.56
t73	2967.52	1695.73
t73	2978.54	1654.22
t73	2985.31	1619.48

t73	2986.16	1556.78
t73	3003.95	1535.60
t73	3025.98	1504.25
t73	3041.23	1474.59
t73	3066.65	1428.84
t73	3107.32	1377.15
t73	3138.67	1333.94
t74	2942.31	2039.21
t74	2956.87	2029.69
t74	2960.23	2023.53
t74	2961.91	2009.53
t74	2964.15	1997.21
t74	2972.00	1992.17
t74	2979.28	1986.01
t76	3003.36	1935.04
t76	3000.00	1925.52
t76	3002.80	1919.36
t76	3009.52	1917.12
t76	3010.64	1908.72
t77	3041.44	1944.00
t77	3068.33	1934.48
t77	3085.69	1933.92
t77	3102.49	1938.40
t77	3127.14	1945.68
t80	3055.45	2117.62
t80	3071.13	2115.94
t80	3091.85	2112.58
t81	2920.47	2166.35
t81	2910.95	2177.55
t81	2903.11	2188.75
t81	2898.07	2201.07
t81	2893.03	2216.76
t81	2888.55	2223.48
t81	2878.46	2233.00
t81	2868.94	2240.28
t81	2855.50	2242.52
t81	2826.94	2245.32
t81	2806.78	2249.80
t81	2794.45	2259.32
t81	2786.61	2272.76
t82	2759.17	2323.17
t82	2748.53	2350.05
t82	2722.76	2375.26
t82	2702.04	2394.30
t83	1834.76	2103.86
t83	1825.96	2129.16
t83	1832.56	2153.36
t83	1856.76	2173.16
t83	1880.96	2195.16
t83	1904.06	2234.76
t83	1930.46	2305.16
t83	1944.76	2341.46
t83	1959.06	2372.26
t83	1982.17	2390.96
t85	2052.40	2416.90

t85	2069.94	2422.97
t85	2084.11	2428.36
t85	2099.62	2427.01
t85	2118.51	2418.92
t85	2134.03	2412.85
t85	2151.57	2408.80
t86	2160.34	2379.12
t87	2132.68	2356.18
t87	2122.56	2346.74
t87	2110.42	2335.94
t87	2101.65	2327.17
t87	2090.85	2306.93
t87	2080.73	2293.44
t88	2159.23	2240.40
t88	2160.99	2285.49
t88	2157.47	2317.70
t89	2153.96	2183.01
t91	2101.25	2038.36
t91	2102.42	2026.06
t91	2134.63	1982.14
t91	2159.81	1983.31
t93	2157.47	2056.52
t94	2190.27	2078.77
t95	2210.76	2132.65
t95	2217.79	2163.10
t95	2221.30	2192.38
t95	2225.99	2226.93
t96	2248.24	2073.50
t96	2286.31	2060.62
t97	2246.74	1980.42
t97	2267.56	1957.00
t97	2276.02	1926.42
t97	2284.48	1900.39
t100	2361.55	2400.49
t100	2401.89	2392.83
t102	2500.67	2371.97
t102	2520.14	2365.71
t102	2547.27	2356.66
t102	2571.62	2352.49
t102	2604.31	2351.79
t102	2620.31	2364.32
t102	2632.83	2371.27
t103	2660.65	2383.10
t103	2676.65	2397.70
t104	2416.50	2347.62
t104	2389.37	2307.97
t104	2365.03	2275.28
t104	2351.81	2256.50
t105	2470.06	2337.19
t105	2461.71	2301.02
t105	2461.71	2289.89
t105	2469.36	2283.63
t105	2472.15	2275.98
t105	2458.93	2266.93
t105	2445.71	2262.06

t106	2487.33	2391.55
t106	2489.22	2409.16
t106	2489.85	2431.80
t106	2484.19	2450.04
t107	2473.50	2482.74
t107	2476.64	2500.35
t107	2482.93	2520.48
t108	2511.23	2531.80
t108	2543.31	2519.85
t108	2562.81	2513.56
t108	2570.98	2508.53
t108	2585.45	2494.06
t109	2620.67	2458.21
t109	2632.62	2446.89
t109	2642.68	2442.49
t109	2657.14	2430.54
t111	2266.58	2429.28
t111	2285.45	2467.02
t111	2297.40	2494.69
t112	2316.89	2539.35
t112	2326.96	2564.50
t112	2336.39	2585.26
t113	2368.46	2590.29
t113	2393.62	2577.08
t113	2419.41	2566.39
t113	2439.53	2558.21
t113	2464.06	2548.78
t114	2020.64	2437.69
t114	2020.64	2488.63
t114	2024.22	2514.99
t114	2031.81	2551.18
t115	2028.69	2443.05
t115	2027.79	2473.88
t115	2030.03	2508.29
t115	2036.28	2536.44
t115	2042.09	2560.12
t118	2077.39	2542.25
t118	2097.05	2515.88
t118	2118.95	2486.84
t118	2141.29	2455.11
t118	2161.40	2427.41
t118	2170.78	2414.90
t120	2044.77	2604.81
t120	2047.90	2602.57
t120	2050.58	2592.74
t120	2053.26	2580.23
t121	2039.86	2630.28
t121	2040.30	2670.94
t121	2040.75	2707.13
t121	2038.96	2726.79
t122	1994.28	2744.22
t122	1958.09	2740.20
t122	1918.76	2735.73
t125	2078.73	2796.95
t125	2097.05	2798.74

t126	2097.50	2775.95
t126	2078.73	2774.61
t128	1983.56	2815.72
t128	1931.72	2809.91
t130	1974.17	2880.06
t130	1931.27	2876.49
t130	1895.97	2872.02
t131	2014.83	2906.43
t131	2026.45	2914.02
t131	2042.54	2902.85
t131	2065.77	2889.45
t131	2087.22	2877.38
t132	2006.34	2576.21
t132	1979.53	2579.34
t133	1927.70	2590.06
t133	1899.10	2596.76
t133	1886.14	2599.89
t135	1902.68	2540.01
t136	1832.17	2616.88
t136	1799.46	2631.98
t136	1774.30	2642.67
t136	1748.52	2650.22
t136	1712.04	2659.02
t136	1674.93	2666.57
t136	1644.12	2670.97
t136	1607.01	2676.00
t136	1579.34	2680.41
t137	1526.68	2732.75
t137	1527.18	2752.28
t137	1529.18	2762.80
t137	1533.19	2769.31
t138	1545.21	2775.82
t138	1553.72	2776.82
t138	1565.74	2775.82
t138	1569.25	2776.32
t138	1574.26	2785.33
t138	1577.26	2794.35
t138	1578.26	2800.86
t138	1576.76	2804.36
t140	1548.21	2831.41
t140	1546.21	2833.91
t140	1532.69	2833.91
t140	1530.18	2829.40
t140	1526.18	2823.39
t140	1517.16	2823.39
t140	1505.14	2828.90
t141	1575.76	2875.48
t141	1577.26	2896.01
t141	1579.26	2918.05
t143	1575.26	2934.08
t143	1566.74	2944.09
t143	1554.22	2958.11
t143	1539.70	2972.64
t143	1533.19	2978.15
t143	1523.67	2984.66

t143	1516.16	2990.17
t143	1504.64	2997.68
t145	1501.64	3026.23
t145	1518.67	3024.22
t146	1563.74	3020.72
t147	1477.60	2987.66
t147	1462.57	2974.64
t147	1444.54	2959.62
t147	1425.51	2948.60
t148	1390.46	2926.06
t148	1377.43	2915.04
t148	1363.41	2903.02
t148	1347.39	2891.51
t149	1471.59	3030.73
t149	1448.55	3039.75
t149	1422.51	3051.77
t149	1399.47	3064.79
t149	1365.41	3091.33
t149	1344.88	3110.36
t151	977.48	3441.29
t151	745.41	3658.82
t151	727.71	3673.99
t151	710.00	3686.64
t151	697.35	3694.86
t151	688.50	3700.55
t151	680.28	3705.61
t154	1010.85	3443.57
t161	1207.91	3385.43
t161	1221.28	3372.56
t161	1231.06	3362.27
t161	1237.23	3353.53
t162	1301.54	3347.35
t163	1249.58	3320.60
t163	1255.75	3307.22
t163	1266.56	3295.39
t163	1290.23	3272.75
t163	1310.81	3252.69
t170	1507.86	3042.26
t170	1499.63	3043.80
t172	1481.62	3044.31
t172	1470.81	3043.80
t172	1453.84	3047.92
t172	1430.17	3057.18
t172	1407.53	3069.53
t172	1379.23	3090.11
t172	1359.68	3108.11
t173	1482.13	3051.52
t174	1481.10	3171.91
t175	1413.70	3206.90
t175	1416.28	3244.45
t175	1422.97	3275.84
t177	1460.52	3295.90
t179	1510.94	3067.98
t179	1536.67	3105.54
t179	1572.68	3155.45



t180	1541.81	3050.49
t180	1563.94	3079.82
t183	1610.24	3036.60
t184	1596.87	3156.99
t184	1595.84	3189.40
t184	1594.29	3206.90
t185	1604.07	3224.39
t185	1599.95	3211.01
t185	1600.98	3191.46
t185	1609.73	3185.80
t186	1545.42	3280.47
t186	1567.03	3278.41
t186	1582.46	3278.93
t186	1598.92	3280.47
t189	1639.06	3349.22
t189	1642.86	3341.00
t189	1649.18	3316.33
t190	1670.05	3254.36
t190	1675.11	3251.20
t190	1725.06	3219.59
t190	1754.78	3199.35
t190	1779.44	3183.54
t190	1787.66	3174.06
t191	1819.28	3132.96
t191	1852.79	3090.59
t191	1873.03	3063.40
t191	1880.62	3049.49
t194	1697.87	2959.06
t194	1694.71	2946.42
t195	1723.80	2994.47
t197	1722.53	2967.92
t201	1940.69	2998.27
t201	2017.83	2995.11
t201	2062.73	2993.21
t201	2086.76	2992.58
t201	2115.85	2988.15
t201	2143.04	2979.93
t203	1553.51	2685.57
t203	1538.77	2699.67
t204	1561.07	2837.82
t204	1566.45	2845.58
t204	1570.62	2852.14
t204	1575.40	2857.52
t207	2041.92	2619.39
t207	2043.13	2640.08
t207	2043.13	2673.34
t207	2043.54	2713.09
t207	2040.70	2738.64
t208	2035.53	2778.84
t208	2031.90	2804.22
t208	2020.62	2884.81
t209	2028.12	2909.59
t209	2037.84	2903.49
t209	2052.07	2894.91
t209	2075.12	2881.80

t209	2092.97	2872.31
t210	2114.43	2880.22
t210	2127.76	2900.10
t210	2138.38	2916.60
t210	2152.39	2936.03
t210	2165.72	2954.55

[LABELS]

;X-Coord	Y-Coord	Label & Anchor Node
----------	---------	---------------------

[BACKDROP]

DIMENSIONS	0.00	0.00	4800.00	4800.00
------------	------	------	---------	---------

UNITS	Meters
-------	--------

FILE	C:\Documents and Settings\mafaldinha\Desktop\viland - cópia\r8_x1.bmp
------	---

OFFSET	0.00	0.00
--------	------	------

[END]

Ficheiro do tipo .msx:

[TITLE]

1º Teste comparativo entre o EPANET 2.0 e o EPANET-MSX  
Decaimento do CloroResidual - Cinética de 1ª Ordem

[OPTIONS]

AREA_UNITS	M2	;Surface concentration is mass/m2\par
RATE_UNITS	HR	;Reaction rates are concentration/hour\par
SOLVER	RK5	;5-th order Runge-Kutta integrator\par
TIMESTEP	360	;360 sec (5 min) solution time step\par
RTOL	0.001	;Relative concentration tolerance\par
ATOL	0.0001	;Absolute concentration tolerance\par

[SPECIES]

BULK	CloroA	MG
BULK	TempoHR	MG
BULK	CloroB	MG
BULK	TempoMIN	MG
BULK	CloroC	MG
BULK	TTHM	UG

[COEFFICIENTS]

CONSTANT	KB	-0.0625	
CONSTANT	K		3.32359604681533
CONSTANT	DD		30.75
CONSTANT	M		0.000322462273391908
CONSTANT	CloroBinicial	1.5	
CONSTANT	CloroCinicial	1.5	

[PIPES]

RATE	CloroA	KB*CloroA
RATE	TempoHR	1

FORMULA	CloroB	$\text{CloroBinicial} * \exp(\text{KB} * \text{TempoHR})$
RATE	TempoMIN	60
FORMULA	CloroC	$\text{CloroCinicial} * (1 - K) / (1 - K * \exp(-(M * (1 - K)) * \text{TempoMIN}))$
FORMULA	TTHM	$\text{DD} * (\text{CloroCinicial} - \text{CloroCinicial} * (1 - K) / (1 - K * \exp(-(M * (1 - K)) * \text{TempoMIN})))$

[TANKS]

RATE	CloroA	$\text{KB} * \text{CloroA}$
RATE	TempoHR	1
FORMULA	CloroB	$\text{CloroBinicial} * \exp(\text{KB} * \text{TempoHR})$
RATE	TempoMIN	60
FORMULA	CloroC	$\text{CloroCinicial} * (1 - K) / (1 - K * \exp(-(M * (1 - K)) * \text{TempoMIN}))$
FORMULA	TTHM	$\text{DD} * (\text{CloroCinicial} - \text{CloroCinicial} * (1 - K) / (1 - K * \exp(-(M * (1 - K)) * \text{TempoMIN})))$

[QUALITY]

GLOBAL	CloroA	1.5
GLOBAL	CloroB	1.5
GLOBAL	CloroC	1.5
;NODE	RNF	CloroB
;NODE	RNF	CloroC

Definido como CloroBinicial na secção dos COEFFICIENTS  
Definido como CloroCinicial na secção dos COEFFICIENTS

[REPORT]

NODES	ALL	;Report results for nodes 1 and 2
LINKS	ALL	;Report results for pipe 1 e 2
SPECIE	TempoMIN	YES
SPECIE	TempoHR	YES
SPECIE	CloroA	YES
SPECIE	CloroB	YES
SPECIE	CloroC	YES
SPECIE	TTHM	YES

;Report results for TempoMIN  
;Report results for TempoHR  
;Report results for CloroResidual  
;Report results for CloroResidual  
;Report results for CloroResidual  
;Report results for TTHM